الطاقة الشمسية
واستخداماتها



مهندس استشارى

محمد أحمد السيد خليل

دار الكتب العلمية
للنشر والتوزيع
القـــاهرة

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع
٥٠ شارع الشيخ ريحان - عابدين - القاهرة
☎ ٢٧٩٥٤٢٢٩
www.sbh-egypt.com
e-mail : sbh@link.net
Scientific Book House

الطاقــة الشمسيــة
واستخداماتهــا

مهندس استشارى
محمد أحمد السيد خليل

الكتـــــاب	:	**الطاقة الشمسية واستخداماتها**
المؤلــــف	:	مهندس محمد أحمد خليل
الناشـــــر	:	دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع - القاهرة
المــقـــاس	:	24 X 17
عدد الصفحات	:	480
الطبعــــة	:	الأولى
رقــم الإيــداع	:	2009/8019
ردمـــــك	:	978 977 287 894 1

دار الكتب العلمية للنشر والتوزيع

50 شارع الشيخ ريحان - عابدين - القاهرة

☎ **27954229 -27948619**

فاكس: **27928980**

لمزيد من المعلومات يرجي زيارة موقعنا على الإنترنت

www.sbhegypt.org

e-mail : sbh@link.net



شكـــر وتقديـــر

أود أن أسجل اعترافي بفضل شقيقي المهنـدس الاستـشاري زكريـا أحمـد السيد خليل لقراءته المتأنية لمخطوطات الدراسة وملاحظاتـه الثاقبـة والرصينـة الـتي كـان لهـا فـضل كـبير في إنـضاج الدراسـة وفـى إدخـال تعديلات مضمونيه وشكلية على الكتاب والتي ساعدت على خروجه بالصورة الحالية.

مهندس استشاري

محمد أحمد السيد خليل

مقدمة عامة

إن مصدر الطاقة الشمسية على كوكب الأرض هو الطاقة النووية سواء كانت طاقة اندماج نووى قادم من أشعة الشمس والذى يصل إلى سطح الأرض، أو كانت طاقة انشطار نووى التى هى طاقة الحرارة الأرضية المسببة لخروج الحمم البركانية من باطن الأرض وكذلك سخونة الكثير من مياه العيون، أو أن تكون طاقة انشطار نووى باستخدام المواد المشعة القابلة للانشطار النووى المتاحة فى القشرة الأرضية كما هى فى باطن الأرض.

الطاقة الشمسية هى مصدر كل مصادر الطاقة من الوقود الاحفورى (Fossil) والذى يشمل الفحم والبترول والغاز. وكذلك كل مصادر الطاقة الجديدة المتجددة والتى تشمل الطاقة الشمسية وطاقة الرياح، والطاقة المائية وطاقة المد وطاقة مياه المحيطات وطاقة الكتلة الحيوية.

فى وجود الطاقة الشمسية تتكون المادة الكربوهيدراتية فى النبات من اتحاد ثانى أكسيد الكربون والماء مع خروج الأكسجين. المادة الكربوهيدراتية النباتية هى مصدر الغذاء الرئيسى للكائنات الحيوانية. لذلك فإن مصادر الطاقة التقليدية (الأحفورية) هى من أصل نباتى وحيوانى والتى تعرضت للضغط والحرارة تحت سطح الأرض منذ ملايين السنين والذى كان السبب فى وجود هذه الطاقة التقليدية هو الطاقة الشمسية. كذلك فإن مصادر الطاقة الجديدة المتجددة والتى تسمى مصادر الطاقة الغير تقليدية هو الطاقة الشمسية. فبالنسبة لطاقة الرياح فإن الطاقة الشمسية هى المسببة لحركة الرياح ومن ثم استخدام طاقة الرياح فى توليد الطاقة الكهربية والميكانية وذلك بسبب اختلاف تأثير أشعة الشمس على الماء واليابسة (المسطحات المائية تشكل حوالى 70% من سطح الكرة الأرضية) بما يسبب حدوث اختلاف فى درجات الحرارة والضغط والذى يسبب بالتالى حركة الرياح. كذلك فإن الطاقة الشمسية هى المسببة للطاقة المائية حيث تتبخر المياه من المسطحات المائية بفعل الطاقة الشمسية وتحملها الرياح حيث تسقط مسببه مصدراً للطاقة المائية. وطاقة الكتلة الحيوية التى هى من أصل نباتى أو طاقة مياه المحيطات نتيجة اختلاف درجات الحرارة بين السطح العلوى والمياه العميقة هما كذلك بفعل الطاقة الشمسية. بالإضافة إلى أن مصادر الطاقة التقليدية والغير تقليدية هو الطاقة الشمسية فإن الطاقة الشمسية يمكن تجميعها واستخدامها فى توليد الطاقة الكهربية وفى تسخين المياه

للاستخدام المنزلي والصناعي وفي تحلية مياه البحر وفي التبريد والتدفئة المنزلية، التجفيف الشمسي للحاصلات الزراعية، المطابخ الشمسية، المحركات الشمسية لضخ المياه وفي تبريد وحفظ المواد الغذائية والأفران الشمسية ..الخ.

وبعد أن صار مؤكداً نفاذ مصادر الطاقة التقليدية من البترول والغاز قبل نهاية هذا القرن فقد أصبح الاهتمام بمصادر الطاقة الغير تقليدية من الأمور الهامة حيث لم يصل بعضها إلى درجات النضج الاقتصادي والتقني المناسب.

وفي هذه الدراسة سيتم تناول موضوع الطاقة الشمسية واستخداماتها. الطاقة الشمسية يبدو أنها ستصبح مصدراً للطاقة يمكن الاعتماد عليه بالإضافة إلى عدم وجود تأثيرات تلوث واضحة لاستخداماتها.

الأبحاث العلمية الحديثة في مجال الطاقة الشمسية بدأت في عام 1855 عندما قام العالم الاسترالي (C. Guntur) باختراع الغلاية الشمسية باستخدام المرايا. في عام 1976 قام المخترع الأمريكي (Thon Erisson) باختراع أنواع عديدة من محركات الهواء الساخن للتدفئة المنزلية. في النصف الأخير من القرن التاسع عشر وأوائل القرن العشرين كانت الأبحاث بطيئة في مجال الطاقة الغير تقليدية، وذلك بسبب توفر الوقود التقليدي بأسعار زهيدة. ولكن الأبحاث المتعثرة في مجال الطاقة الشمسية قد انعشت في عام 1940 عندما ترك (God Eray Gabat) كمية كبير من المال للمشروعات البحثية في هذا المجال. قريباً شملت الأبحاث في مجال الطاقة الشمسية اهتمام الدول الصناعية، وفي المستقبل القريب سوف نرى تطوراً كبيراً في مجال تكنولوجيا الطاقة الشمسية.

كل الدول في جميع أنحاء العالم تستقبل بعضاً من الطاقة الشمسية. هذه الكمية تختلف ما بين عدة مئات من الساعة في العام كما في دول الشمال إلى أربع آلاف ساعة في العام كما في معظم الدول العربية. عند تقدير كمية الطاقة الشمسية الساقطة على الأرض دعنا نتناول أولاً الصحاري الطبيعية في العالم والتي تشمل صحاري الشمال بمساحة حوالي 30×10^6 كيلومتر مربع بمتوسط إشماس أي الشعاع شمسي (Insolation) 291.65 وات/متر مربع/اليوم. وصحاري حول المدار بمساحة 20×10^6 كيلومتر مربع والتي تستقبل حوالي 583.3 وات/المتر المربع/اليوم. وفي حالة عدم تناول المساحات البحرية وباقي المساحات الأرضية. لذلك، فإن كمية الطاقة الشمسية التي يتم استقبالها بهذه المسحة 50×10^6 كيلو متر مربع هي 162.2×10^{12} كيلو وات ساعة/اليوم، مع افتراض أن الإشعاع الشمسي هو بمتوسط ثمان ساعات، أو تقريباً 60×10^{15} كيلوات ساعة/العام.

وباستخدام 5% فقط من هذه الطاقة فإنه سوف ننتج 300 × 10^{13} كيلوات ساعة وبمقارنة هذه مع متطلبات الطاقة على مستوى العالم في عام 2000 (50 × 10^{12} كيلوات ساعة/العام) يمكن ملاحظة أنها تصل إلى 60 ضعف الذى يتطلبه العالم.

معظم الطاقة التى تستقبلها من الشمس تأتى فى صورة ضوء، الإشعاع ذو الموجة القصيرة ليس كله يمكن رؤيته بواسطة العين البشرية عند سقوط هذا الإشعاع على مادة صلبة أو سائلة، فإنه يمتص ويتحول إلى طاقة حرارية وتصبح المادة ساخنة وتختزن الحرارة وتوصلها إلى المادة المحيطة (الهواء، المواد الصلبة أو السائلة الأخرى، أو إعادة إشعاعها إلى مواد أخرى ذات درجة حرارة أقل. إعادة الإشعاع (Re - Radiation) هو إشعاع ذو الموجة الطويلة (Long - Wave).

الزجاج ينقل بسهولة الأشعة قصيرة الموجة، وهذا يعنى أنه يمتلك إعاقة قليلة للأشعة الشمسية القادمة. لكنه ناقل ضعيف جداً للأشعة طويلة الموجه، بمجرد مرور الأشعة الشمسية خلال النافذة الزجاجية وامتصت بواسطة بعض المواد فى الداخل، فإن الحرارة سوف لا يتم إعادة إشعاعها ثانياً إلى الخارج. لذلك، فإن الزجاج يعمل كمصيدة للحرارة (Heat Trap) وهى الظاهرة التى عرفت فى إنشاء البيوت الزجاجية (Green House)، والتى يمكنها الحصول على الدفئ فى الأيام الشمسية حتى فى فصل الشتاء، وقد عرف هذا بتأثير الصوبة "Green House Effect".

المجمع أو الحاشد (Collector) الشمسى للتدفئة المنزلية والذى يسمى عادة المجمع ذو السطح المستوى (Flat plate collectors)، له دائماً واحد أو أكثر من الأغطية الزجاجية، رغم أن مختلف أنواع البلاستك والمواد الشفافة الأخرى قد تم استعمالها بدلاً من الزجاج.

أسفل لوح الغطاء، يوجد عادة لدى الجامعات (الحاشدات) الشمسية (Collectors) لوح آخر الذى يمتص الأشعة الشمسية الساقطة عليه. اللوح الماص (Absorber) هذا يصنع عادة من النحاس، الألومنيوم، الصلب أو من مادة مناسبة أخرى وعادة يغطى بمادة مثل الطلاء الأسود التى تساعد فى امتصاص معظم الحرارة وليس انعكاسها أو إعادة إشعاعها. بمجرد أن يتم امتصاص الحرارة فإنه يمكن التقاطها واستخدامها. ألواح الأغطية الزجاجية تساعد فى خفض الفقد الحرارى خلال المقدمة بينما العزل لقاع اللوح الماص يقلل الفقد الحرارى خلال المؤخرة. استخدام الطاقة الشمسية الأكثر نجاحاً الآن هو فى الاستخدامات الآتية:

1- تدفئة المبانى.

2- تبريد المبانى.
3- التسخين الشمسى للماء أو الهواء.
4- إنتاج الملح بتبخير مياه البحر.
5- التقطير الشمسى للمياه المالحة لتوفير المياه العذبة لاستخدامات التجمعات الصغيرة.
6- طهى الأطعمة.
7- المحركات الشمسية لضخ المياه.
8- تبريد وحفظ المواد الغذائية.
9- التحول الفوتوفولتى (Photo - Voltaic Conversion).
10- الأفران الشمسية.
11- المصدر الغير مباشر لتحويل الطاقة الشمسية، أى فى شكل الرياح، التحول البيولوجى ..الخ.

وسيتم فى هذه الدراسة تناول موضوع الطاقة الشمسية واستخداماتها فى 17 فصل. حيث خصص الفصل الأول لمصادر الطاقة على كوكب الأرض والتعاريف والفصل الثانى للانتقال الحرارى واستخدام لطاقة الشمسية، وفى الفصول من الثالث حتى الرابع تحليل الإشعاع الشمسى وقياساته. والفصل الخامس لطبقات التغطية والطلاء والفصل السادس تناول المجمعات الطاقية والسابع المجمعات الشمسية من نوع التركيز البؤرى، الثامن لاختبار الأداء للمجمعات الشمسية، والتاسع لتخزين الطاقة الشمسية، الفصل العاشر تم فيه تناول البرك الشمسية، الفصل 11 للتسخين الشمسى للماء، الفصل 12 خصص للتدفئة الشمسية للمبانى، الفصل 13 للتبريد (التكييف) الشمسى للمانى، الفصل 14 لتوليد الشمسى للطاقة الحرارية، الفصل 15 التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية الفوتوفوليته، الفصل 16 طرق أخرى لاستخدام الطاقة الشمسية، أما الفصل 17 والأخير فقد تناول الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقة الشمسية.

ولقد تم إعداد هذا المرجع لإلقاء الضوء على جدوى استعمالات الطاقة الشمسية فى مختلف الأغراض وفى مختلف فصول السنة والله أسأل أن تتحقق الاستفادة منه.

المؤلف

مهندس استشارى

محمد أحمد السيد خليل

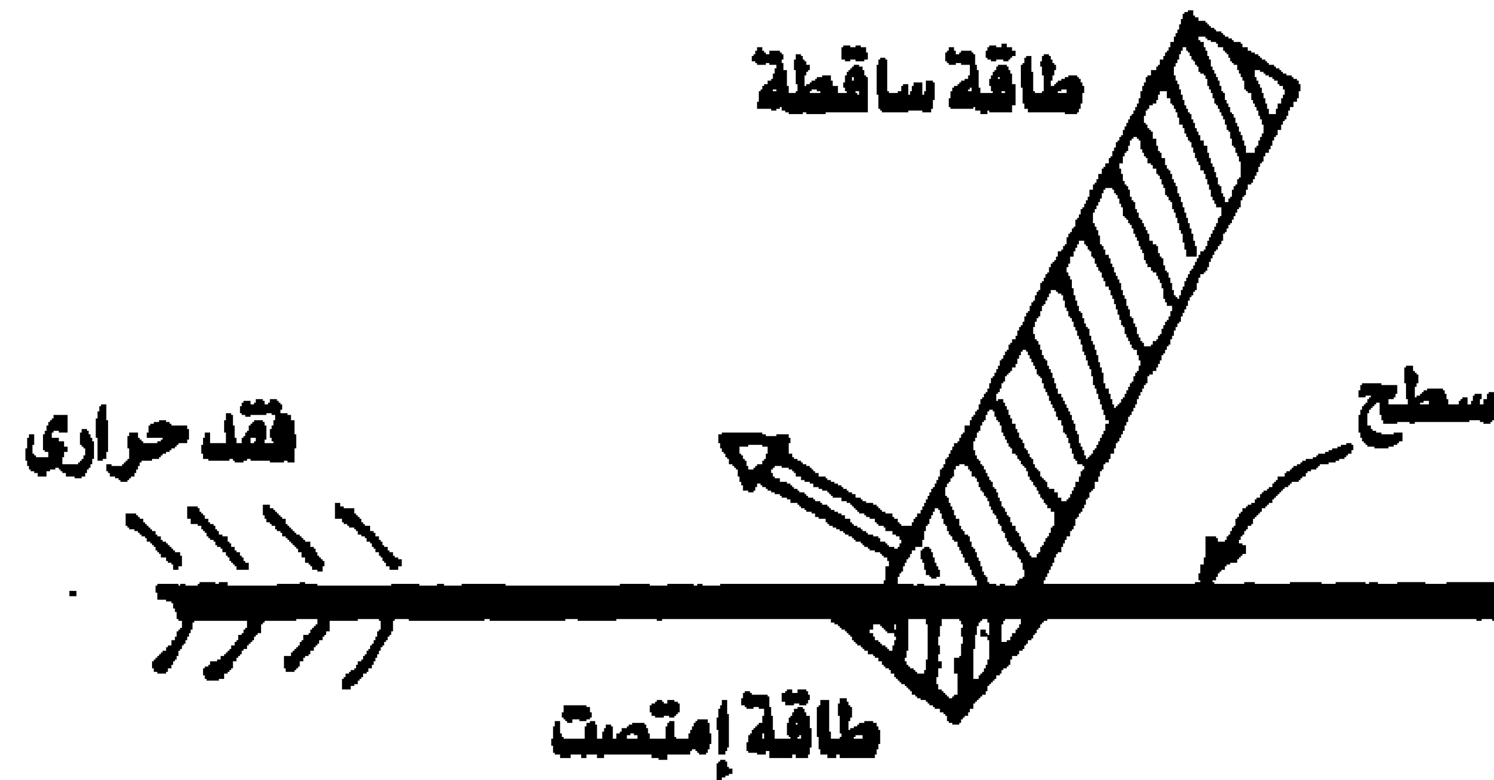
فهـــــرس

الفصـــل الأول

مصادر الطاقة على كوكب الأرض والتعاريف

1- الإشعاع الشمسى :

أقرب النجوم هى الشمس، وهـــى ذات حجـــم متوســـط 1.376.000 كيلـــو متـــر (860000 ميل) الشمس تدور حول محورها مرة واحدة تقريباً كل شهر، ولكونها كتلة متوهجة من الغاز وفرن نووى ضخم حيث يتحول الهيدروجين إلى الهيليوم، وكثافتهـــا أقل عن 1.5 ذلك للماء - الشممس ذات سطح يحير البصر من شدة الـــضوء، ســـطح الشمس المنير (الفوتوسفير) منقطة بنقط سوداء وقطع لامعة صغيرة. نتوءات ضـــخمة أو تيارات من الغاز الساخن تنطلق إلى الخارج وتمطر على ســـطح الـــشمس، حيـــث تتحرك بسرعات مختلفة. حول الشمس توجد حالة ثابتة ذات غاز مرتفع وهـــابط، ذات كثافة عالية بحيث أن ملاحظة هذه المشاهد الغير عادية بالعين المجردة يكون غير آمن. الذى يصل إلى الأرض من طاقة الشمس هذه هو فقط 1على 2 مليون من هذه الطاقة.



شكل (1/1) الامتصاص

مصادر الطاقة التقليدية مشتقة من الشمس. التمثيل الضوئى يحول الإشعاع الشمسى الساقط إلى الكبروهيدريت فى النبات مع وجود ثانى أكسيد الكربون والماء وبذا ينمـــو النبات، وتتغذى عليه الكائنات الحيوانية. النبات والكائنات الحيوانية التى ماتت وتحللت تحت سطح الأرض منذ مئات وملايين السنين تحولت إلى الوقود التقليدى.

كل يومين تسقط الشمس على الأرض طاقة تعادل كل الاحتياطيات المعروفة مـــن الوقود على الأرض.

فى مواجهة الخفض بل ونهاية عصر الوقود التقليدى قبل نهايـــة القـــرن الواحـــد والعشرين، فإن العلماء والمهندسون حولوا أنظارهم الآن نحو الاستخدام المباشر للطاقة من الشمس والتى لا تنضب لاستمرار الحياة. المعدة المصممة لتحويل طاقـــة الـــشمس للتسخين أو التشغيل تستخدم الإشعاع الشمسى لهذا الغرض.العوامل الرئيسية التى تؤثر على كميات الإشعاع المستقبلة بالسطح الأفقى عند مستوى سطح الأرض هى وضـــع

الشمس فى خط العرض لزاوية التمدد (Altitnde and Alzimuth) معظـــم محطـــات الرصد تسجل الإشعاع الشمسى فى شكل إشعات كونى أو كلى استقبال بواسطة ســطح أفقى.

الإشعاع الشمسى الكوكبى يتكون من ثلاث مكونات أساسية.

- إشعاع مباشر (Direct Radiation).
- إشعاع منتشر Diffuse Radiation.
- إشعاع منعكس من الأرض Reflected radiation

لغرض الحسابات، باعث الإشعاع الشمسى - الشمسى- يمكـــن اعتبارهـــا نقطـــة المصدر للإشعاع المباشر وأن مقدار هذا الإشعاع من السماء الصافية يمكن حسابه من هندسة زوايا الوضع الشمسى.

الإشعاع المنتشر المشتت يتم استقباله من كل نصف الكره السماوى ويفتـــرض أن يكون ذو كثافة متجانسة، هذه الفرضية من الواضح أنها ليست دقيقة، ولكنهـــا مناســـبة لمعظم الأغراض.

فى مثل هذه الظروف، فإنه يوجد إشعاع شمسى منعكس من الأرض على الأسطح المائلة، مثل هذا الإشعاع يصعب تقديره وعادة يتم إهماله فى كل الحـــسابات العلميـــة للطاقة.

يكون من المفضل إنشاء معدة حصد الطاقة الشمسية فى الأماكن حيـــث يفتـــرض وفرة الإمداد بهذا الإشعاع الشمسى. الجدول الآتى يبين متوسطات الإشـــعاع الشمـــسى الساقط على سطح أفقى فى أماكن مختلفة من الكره الأرضية.

جدول (1-1) الإشعاع الكوكبى أو الكلى عن سطح أفقى

الدول / المكان	المتوسط اليومى خلال العام		الإجمالى السنوى
	وات ساعة/متر مربع	وحدة حرارية/قدم مربع	جيجا جول/م^2
شمال أوربا	280 - 240	890 - 760	3.8 - 3.1
دول البحـــــر الأبيض المتوسط	600 - 430	1900 - 1360	8.0 - 5.6
وسط أفريقيا	430 - 440	1990 - 1400	8.3 - 5.8
الهند باكستان	630 - 520	1990 - 1660	8.3 - 6.8

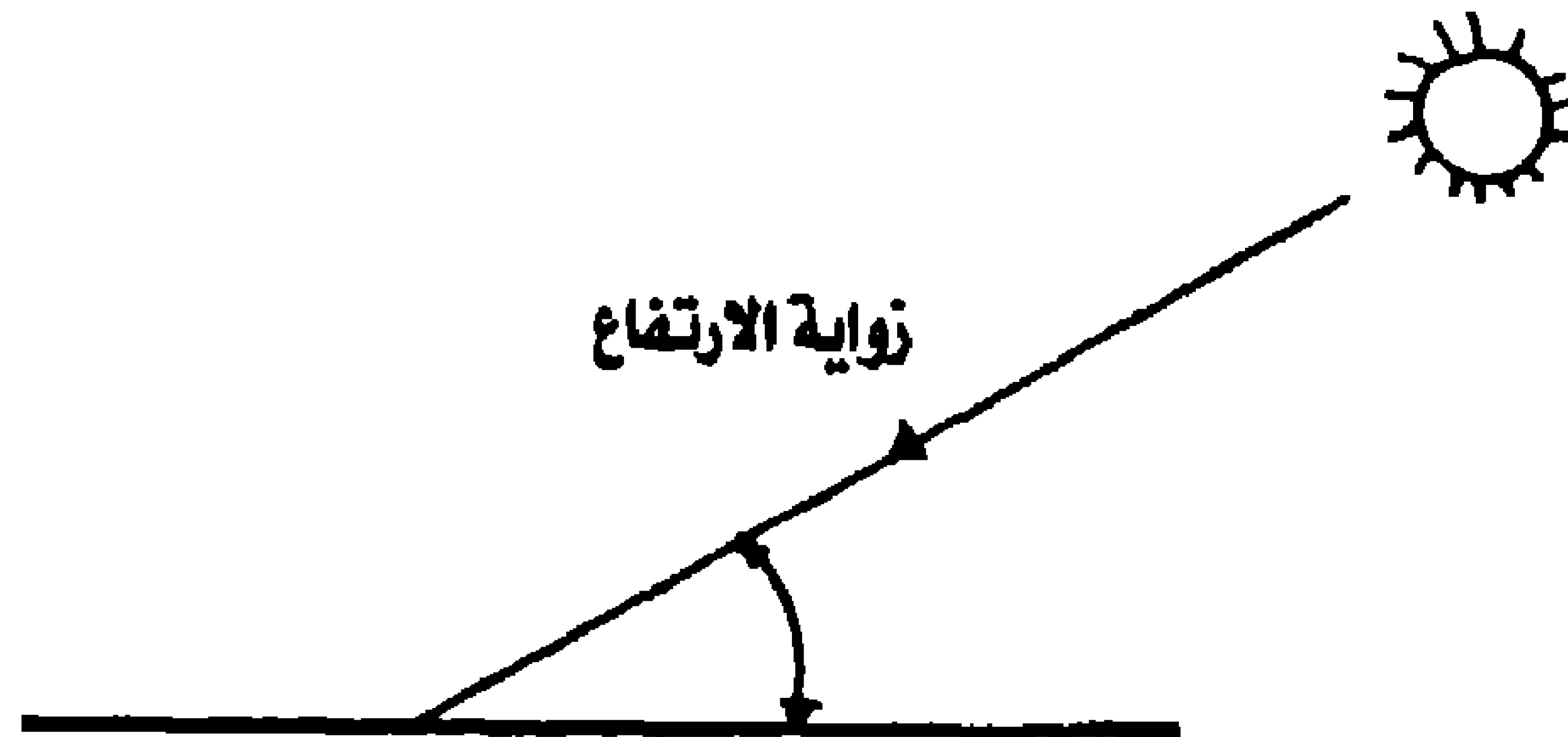
اليابان	420 - 325	1330 - 1030	5.6 - 4.2
المملكة المتحدة	267	847	3.5
الولايات المتحدة			
الولايات الشمالية	385	1220	5.0
الولايات الجنوبية	580	1840	5.6
كندا	230	740	3.1

الجدول يبين أن الأماكن ذات طاقة شمسية عالية هى دول البحر الأبيض المتوسط، دول أخرى.الطاقة الشمسية الساقطة على كل هكتار فى الهند أو فى مصر يساوى ما يتم الحصول عليه من حرق ما يزيد عن 1000 طن من الفحم. رغم أن اليابان من بين الدول المستقبلة لكم كبير من الطاقة الشمسية إلا أنه فى عام 1970 وحده تم بيع ما يزيد عن 2.5 مليون سخان ماء شمسى.

2- معانى الكلمات والمصطلحات:

1- Absorptance الامتصاصية :

وهى النسبة بين الطاقة الإشعاعية الممتصة بواسطة سطح مستوى إلى الطاقة الإشعاعية الساقطة على ذلك السطح شكل (2/1).



(شكل 2/1) زاوية الارتفاع عن الأفق

2- Absorbtion الامتصاص:

هو العملية التى يتحول فيها الإشعاع خلال المادة إلى طاقة مثارة. معظم الطاقة الإشعاعية الساقطة على سطح أسود من خليط معدنى يتم امتصاصها – عادة بما لا يقل عن **80%** وبالنسبة للسطح الانتقائى أو المعالج خصيصاً حوالى **98%**. عملية التحول الحرارى معقدة، متضمنة سرعة الإلكترونات، تعدد التصادمات، وامتصاص وتشقق

الكم الضوئى (Photons). الطاقة الإشعاعية لكل أطوال الموجة لذلك يتم انحطاطها وهبوطها (Degraded) إلى حرارة. أنظر السطح الانتقائى (Selective surface) فى الفصول التالية .

3- Absorbtion coefficient معامل الامتصاص :

هو مقياس لقوة الامتصاص لمادة للطاقة الإشعاعية لوحدة الطول. عادة تقدر ببساطة عشريا (**0.8** أو **0.98**) ويرمز لها بالرمز (α).

4- Air conditioning system: نظام تكييف الهواء

تكييف الهواء الشامل يقوم بالتوزيع الصحيح للهواء المعالج فى الفراغ ويحصل على حالات سبق تعيينها فى هذا الفراغ لدرجة الحرارة، المحتوى من الرطوبة، والترشيح وتدفق الهواء.

5- Air Mass كتلة الهواء :

طول المسار خلال الغلاف الجوى للأرض الذى يعبره إشعاع شمسى مباشر، مقدراً كمضاعف طول المسار مع الشمس عند السمت أو الذروة (Zenith).

6- Air Vent تصريف الهواء :

تجهيزه لإزالة الهواء من نظام سائل، أما يدويا أو آليا.

7- Algae الطحالب :

نباتات وحيدة الخلية أو شعيرية التى عادة تنمو بسرعة وتعيش فى الماء العزب أو المالح. تكون الطحالب خلال المحميات الشمسية يكون غير مرغوب فيه.

8- Altitude زاوية الارتفاع عن الأفق :

الزاوية التى تكون بين أشعة الشمس والسطح الأفقى عند نقطة معينة شكل (2/1).

9- Ambient درجة الحرارة المحيطة :

10- Antifreeze مانع التجمد:

الذى يمنع التجمد للمادة (عادة) بإضافات عديدة أو بتسخين العناصر النادرة بما يحافظ على درجة حرارة السائل فوق درجة حرارة التجمد (صفر مئوية 32^{o} فهرنهيت).

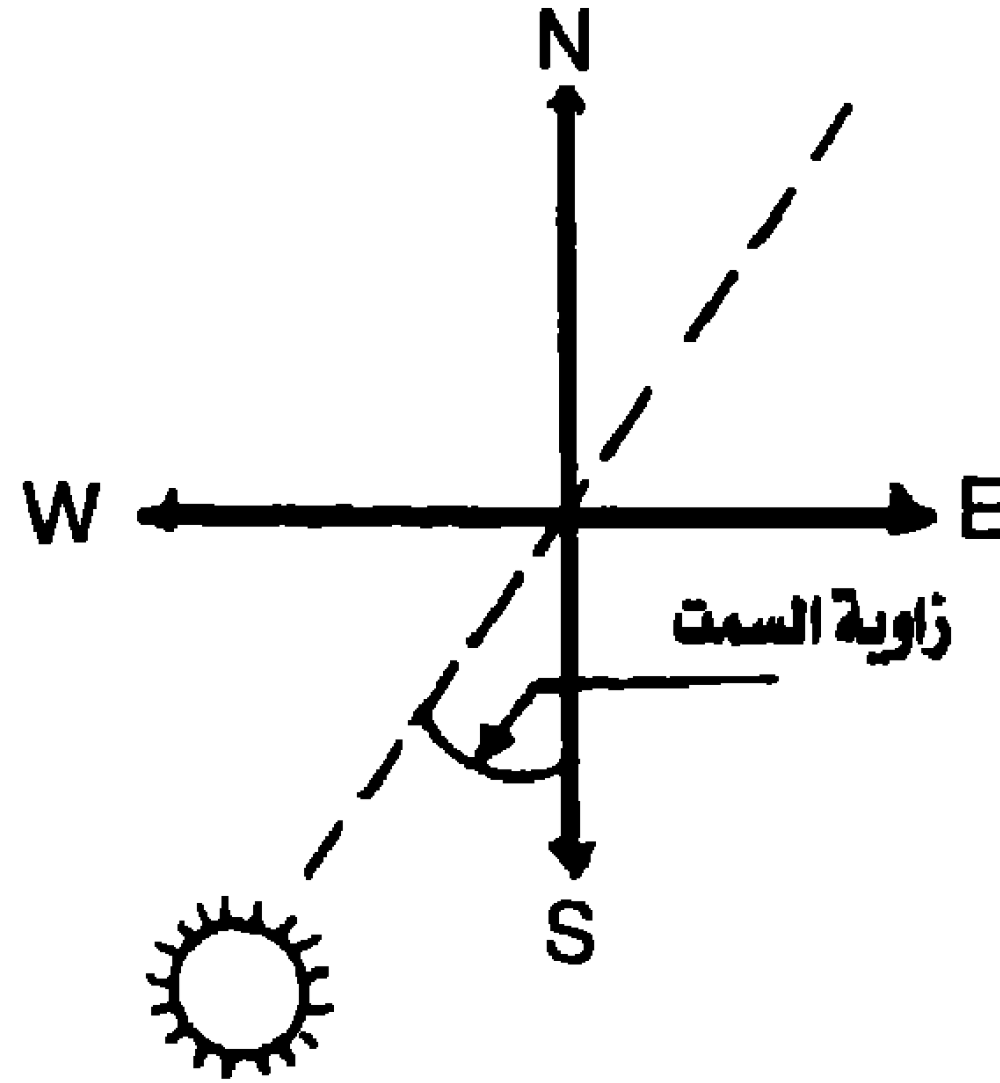
11- Anti reflection coating الطلاء أو الغطاء المانع للانعكاس.

الطلاء أو التغطية على السطح لزيادة كمية اختراق الضوء. واختصاره (AR) وقد يستخدم على سطح الخلايا الشمسية أو الأغطية الزجاجية أو من البلاستك للمجمعات الشمسية (Solar collectors).

12- **Array** صف كما فى حالة الصف من الخلايا الشمسية (Solar array).

13- **Azimuth** السمت:

الزاوية التى تكونها أشعة الشمس مع المستوى الأفقى عند نقطة معينة شكل (3/1).

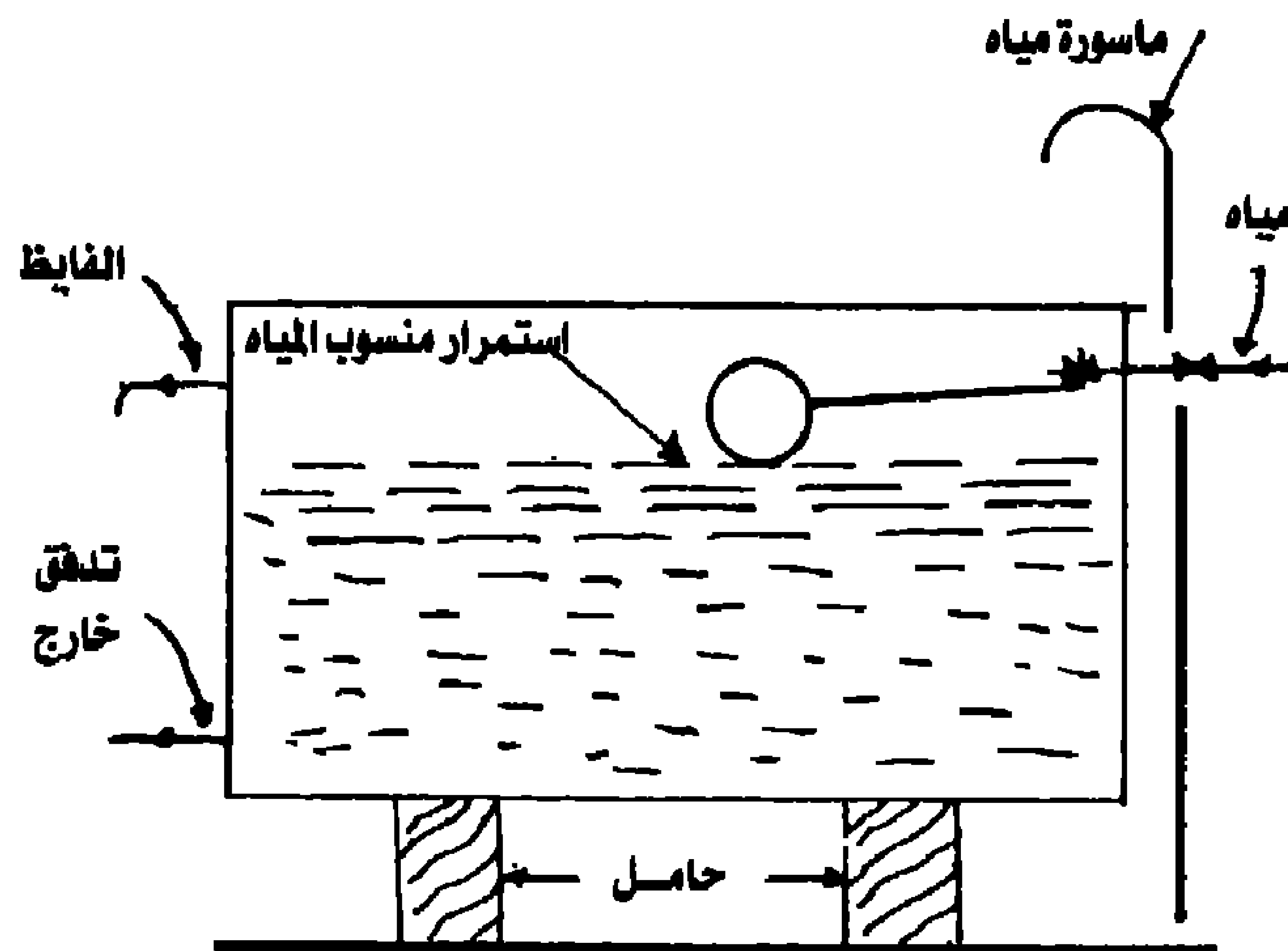


شكل (3/1)

زاوية السمت عادة تقاس بالدرجات شرقاً (صباحا) ودرجات غرباً (بعد الظهر) للجنوب.

14- **Ball balve** محبس كوره:

فى معظم خزانات المياه المفتوحة توجد حاجة لزيادة المياه. محبس الكوره الذى هو عبارة عن عوامة من البلاستك أو المعدن متصلة بزراع رافعة إلى آلية محبس منزلق لمحبس المياه الرئيسى شكل (4/1).



شكل (4/1) خزان مزود بمجس (كورة) عوامة

15- Black Body جسم أسود :

الجسم الأسود يقصد به المادة المثالية التى تمتص كل الإشعاع الساقط عليها ولا تبعث أى شئ. التعريف المقابل هو الجسم الذى يبعث أقصى إشعاع ممكن، وإنبعاثيته (Emissivity) تكون واحد (1.0).

16- Circulating pump طلمبة تدوير :

تجهيزه عادة تعمل بالكهرباء، تستخدم لتحريك سائل (عادة الماء) خلال ماسورة لنقل الحرارة مثل (مثال) المجمع الشمسى (Solar collector) إلى التخزين الحرارى. قلب الإنسان هو مثال جيد لطلمبة التدوير.

17- Clearness الصفاء والنقاء

الغلاف الجوى ليس صافى دائماً كما هو الحال عند مستوى سطح البحر، عند ارتفاع واحد ميل (1.6 كيلو متر) فوق مستوى البحر، لذلك فإن مستوى الإشعاع أو الامتصاص (Insolation). هذه الظاهرة تعرف بإعداد النقاء (Clearness Numbers). فى صحراء أريزونا إعداد الصفاء أو النقاء تقترب من الواحد الصحيح.

18- Colour temperature درجة حرارة اللون:

درجة الحرارة فى درجات كليفن (K)، التى عندها طيف الإشعاع الطيفى لجسم كامل السواد مشع يتطابق تقريباً مع شكل منحنى الإشعاع الطيفى للمصدر المشع تحت الاعتبار. درجة حرارة اللون للإشعاع الشمسى الكوكبى خلال طول الموجة من 300 نانوميتر إلى 780 نانوميتر (300 - 780 nm) عند سطح الأرض فى المملكة المتحدة هو حولى 5700^{o} كيلفن (5700^{o} K) مع تغيرات كبيرة.

19- control devices تجهيزات تحكم:

التجميع الناجح للحرارة يتطلب تحكم لتجنب التسخين الزائد، الغليان أو التلف بتجميد المائع أو الثلج للحصول علىحيود نحو أو خارج مصدر الحرارة. مثل تجهيزات التحكم هذه الكهربية أو الميكانيكية الحرارية (Thermo - mechanical) تستخدم لنظم التجميع الشمسى.

20- Corrosion التآكل :

التآكل فى نظم التجميع الشمسى عادة يسبب الثقوب أو العدوانية الكيماوية على أسطح المعدات. التآكل يمكن أن يكون حاداً.

21- Declination الانحراف أو الميل الزاوى:

الزاوية بين مستوى مدار الأرضى (Earth's Orbit) والمستوى الاستوائى المار بخط الاستواء (Equatorial Plane) أو المسافة الزاوية للشمس من خط الاستواء.

22- Deltat (Temperature) :

الفرق فى درجة الحرارة بين متوسط درجة حرارة المائع للمجمع الشمسى ودرجة الحرارة المحيطة، أو العادية، أو الهواء.

22- Dezincification إزالة الزنك :

نوع من التآكل الناتج عن الإزالة التفضيلية للزنك من سبيكة النحاس الأصفر (Brass)، فهى تحول النحاس الأصفر إلى النحاس المثقب والذى يمكن أن يؤدى إلى الإنسدادات بنواتج التآكل وفقد القوة.

23- Electrical wiring system نظام أسلاك التمديد الكهربائى:

الطاقة الكهربية اللازمة لتشغيل طلمبة تدوير وتجهيزات أخرى تعمل بالطاقة الكهربية مع التحكم منخفضة الجهد (الفولت) لتشغيل أو إيقاف هذه التجهيزات يتطلب نظام أسلاك التمديد الكهربائى، عادة امتداد من الإمداد العام للمبنى من الكهرباء.

24- Electrolytic Action الأداء الإليكتروليتى:

السبب فى تلف وتدمير المعادن الغير متماثلة (عادة النحاس والصلب المطاوع المجلفن) الملتصقين مع بعضهم البعض، الذى يتم تعجيله بواسطة السائل الساخن/ الدافئ؛ مثل تلف اتحاد أو التصاق النحاس وأنبوب الصلب المجلفن الحامل للماء الساخن خلال حلقة تدوير.

25- Emittance: شدة الانبعاث :

نسبة الطاقة الإشعاعية المنبعثة (فى عدم وجود إشعاع ساقط) من سطح مستوى معين عند درجة حرارة معينة، إلى طاقة الإشعاع التى سوف تبعث بواسطة جسم أسود مثالى عند نفس درجة الحرارة.

26- Equinox الاعتدال الربيعى أو الخريفى :

اللحظة التى عندها تعبر الشمس ظاهريا خط الاستواء السماوى Celestial Equator نقطة تقاطع مدار الشمس الظاهرى بين البروج، أو دائرة الكسوف (Ecliptic) وخط الاستواء السماوى عندما يكون الميل يساوى صفر.

27- Extended Finned surface إمداد السطح بالزعانف :

لزيادة المساحة السطحية للمعدن المتصل بأنبوب حامل للمائع، فإن كمية الحرارة المنقولة إلى السائل تزداد. الزعانف (Fins) يمكن أن تكون مستطيلة أو دائرية، متصلة برباط ميكانيكى أو باللحام.

28- Fan المروحة :

تجهيزه (عادة تعمل بالكهرباء) لتحريك الهواء ضد مقاومة، مثل لتدوير الهواء بين المسكن وخزان الحرارة بغرف نقل الحرارة والتكييف.

29- Flat plate collector مجمع اللوح المستوى:

30- Flux مادة خفض درجة حرارة الانصهار للمعدن :

مادة تخلط مع المعدن لخفض درجة حرارة الانصهار كما للحام بالفضة (Silver foldering) لمواسير النحاس.

31- Frost Damage تلف التجمد:

الماء يتجمد عند صفر درجة مئوية (32° فهرنهيت) عندئذ فإنه يزداد فى الحجم (التغير من الحالة السائلة إلى الصلبة)، ولذا يحدث ذلك تمدد للماسورة أو الوعاء. يحدث الجليد عند درجات حرارة أقل من درجة التجمد، ولكنه عادة لا يكتشف لحين تلف الماسورة أو عدم التجميد.

32- Frost protection : الحماية من التجمد :

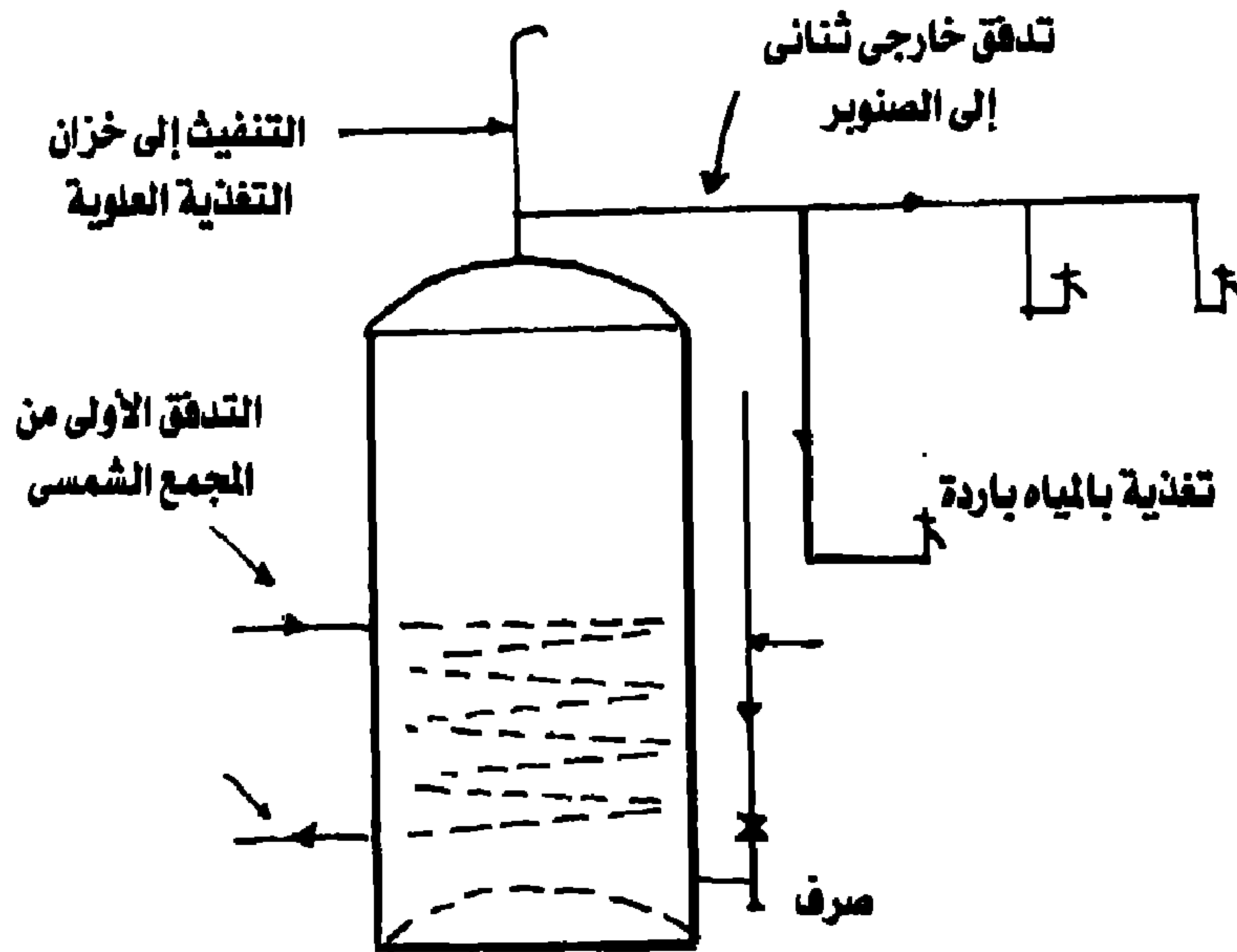
يوجد العديد من الطرق لمنع التلف بالتجمد للمواسير والمجمعات الشمسية، بالتفريغ، باستخدام سائل الذى يتجمد عند درجات حرارة منخفضة جداً أو العزل الحرارى الجيد.

33- Green House Effect : ظاهرة الدفئيات، ارتفاع درجة الحرارة فى المستنبت الزجاجى عنها فى خارجه:

ظاهرة الصوبات: احتباس الإشعاع الحرارى (من الشمس) بواسطة جو الأرض. درجة حرارة الهواء تحت الزجاج أو الغطاء الشفاف تزداد عند التعرض للإشعاع الحرارى. هذا التأثير يكون بسبب امتصاص الإشعاع بواسطة الأسطح أسفل هذا الغطاء الشفاف وبواسطة الامتصاص السريع للإشعاع فى مجال الموجة الطويلة أو تحت الحمراء الغير قادرة على إعادة الإشعاع (Re- radiate) خلال الغشاء الشفاف.

34- Heat Exchanger: المبادل الحرارى

وعاء أو مصدر للحرارة محتويا لفيفه أولية من الأنابيب أو الفراغ الحلقى (Annulus) تنتقل الحرارة من المائع الأولى إلى المائع الثانى الأكثر برودة.



شكل (5/1) مبادل حراري

35- Heat store خزان الحرارة

وعاء خزان أو مادة صلبة حيث يتم فيه تراكم الحرارة خلال فترة من الوقت للاستخدام عند الحاجة.

36- Heat Transfer fluid مائع الانتقال الحراري

موانع خاصة ذات نقطة تجمد منخفضة والتي تستخدم عادة بدلاً من الماء لنقل الحرارة من خزان المجمع الشمسي إلى خزان الحرارة كوسط أولي.

37- Hour Angle زاوية التوقيت:

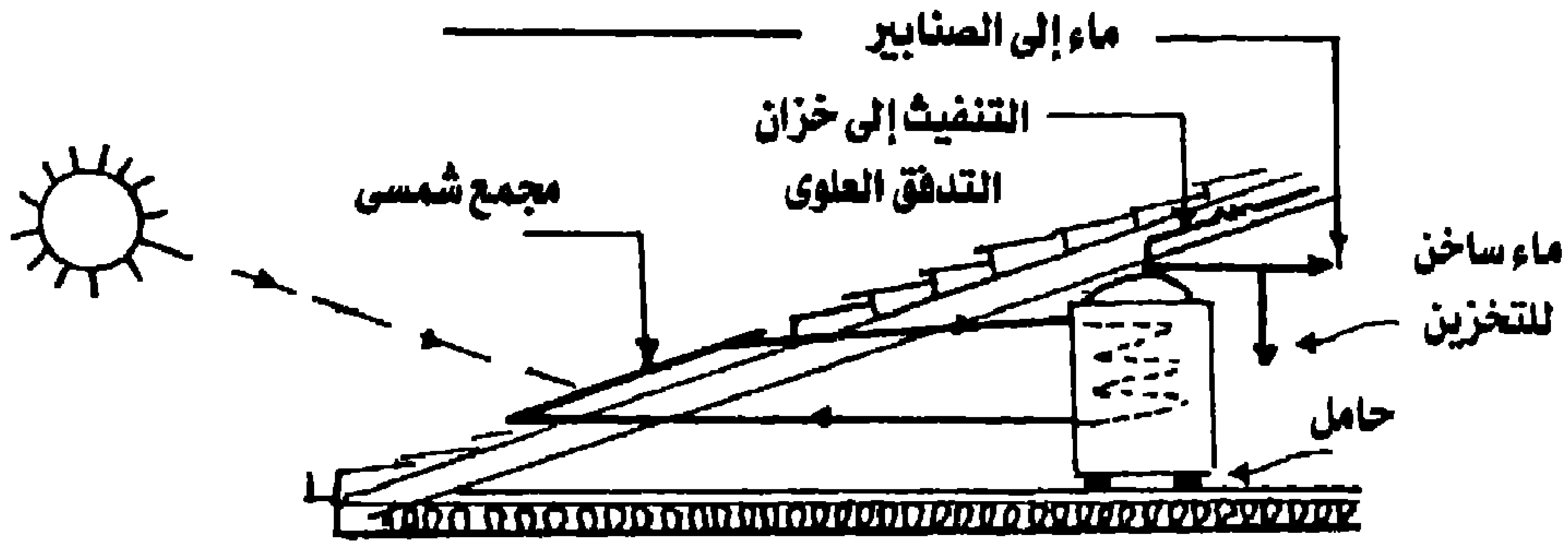
المسافة الزاوية (Angular distance) للشمس من مكانها عند الظهر

h = 360/24 xT

T = عدد الساعات لوقت الشمس (Sun Time)، أي ناحية للظهر (الزوال).

38- Inclined surface السطح المائل

سطح تجهيزه المجمع الشمسي المائل بزاوية بالنسبة للمستوى الأفقي أو لأفقي الملاحظ



شكل (6/1) مجمع شمسى بالسطح السائل

39- Infra red تحت الحمراء :

إشعاع طويل الموجة غير مرئى (حرارة)

40- Insolation الإشماس

الطاقة الشمسية الساقطة على وحدة المساحة لسطح خلال فترة من الوقت، الوقت التكاملى للتعرض للإشعاع الشمسى (Solar Irradiation).

41- Insulation: عزل

العزل الحرارى المستخدم على مصدر الحرارة أو الماسورة لخفض الفقد الحرارى أو للحماية ضد التجمد.

42- Irradiation التشعيع أو التعرض للإشعاع

الطاقة الإشعاعية الساقطة على وحدة المساحة على سطح مستوى فى وحدة الوقت، عادة تقدر بـــ وات/متر مربع أو وحدة حرارية/ قدم مربع.

43- Latitude: خط العرض

خط العرض لنقطة على سطح الأرض هو مسافتها الزاوية من خط الاستواء فمثلاً، خطوط العرض للمدن الآتية هو

لندن (51° 30`N)

نيويورك (40° 40`N)

سيدنى (33° 52°S)

دلهى(28° 38`N)

44- Local Apparent time (LAT) الوقت المحلى الظاهرى:

نظام الوقت الفلكى الذى فيه تعبر الشمس دائماً شمال - جنوب دائرة خط الطول - الزوال عند 12 ظهراً. هذا النظام للوقت يختلف عن الوقت المحلى طبقاً لمنطقة الطول والوقت. الإزاحة المدققة تتغير كذلك مع الوقت من العام.

45- Longitude خط الطول، قوس الطول

الزاوية التى تحدثها دائرة خط الطول (خط التنصيف Meredian) مع خط الطول (خط الزوال) القياسى (عادة عند جرينتش فى المملكة المتحدة).

46- Net long wave radiation صافى الإشعاع طويل الموجة

الإشعاع الصافى، باستثناء الإشعاع قصير الموجة الداخل والخارج.

47- Net present value analysis: صافى تحيل القيمة الحالية

تقنية لتحليل اقتصاديات النظم ذات التوقع بطول عمر الاستخدام ، متضمناً عدم حساب فوائد الامتصاص المستقبلى بالنسبة لقيمتهم الحالية واستخدام معدلات فائدة مختارة. الفائدة المقدرة ذات أهمية بالنسبة لناتج التحليل.

48- Net Radiation الإشعاع الصافى

الفرق بين الإشعاع الكلى القادم والإشعاع الكلى الخارج. الإشعاع القادم يكون من:

أ- الأشعة القصيرة من الشمس ومن السماء.

ب- حرارى، أساساً من الطبقات الجوية القريبة من الأرض.

الإشعاع الخارج من السطح يتضمن

أ- الأشعة قصيرة الموجة المنعكسة طبقاً للإشعاعيه الساقطة وانعكاسية السطح.

ب- الأشعة الحرارية طويلة الموجة طبقاً لدرجة حرارة سطح الأرض وانبعاثية الموجة الطويلة.

49- Passively Heated solar Building التسخين الشمسى الخامل للمبنى

المبنى حيث المدخل الشمس يتم تخزينه واستخدامه داخلياً بدون مساعدة معدة ميكانيكية مثل المجمع والطلمبة.

50- Pay Back condition

الشرط أو التعاقد الاقتصادى الذى يتطلب أن العمر المتحصل عليه للنظام (الشمسى) سوف يزيد التكلفة الأولية للنظام (الشمسى) مقسوماً على القيمة السنوية للوقود الذى تم توفيره بإنشاء النظام، مع إهمال كل عائد الفوائد والنظم.

51- PH Value الرقم الهيدروجينى :

جهد الهيدروجين مؤشر يستخدم لمعرفة ما إذا كان الماء متعادلاً، أو حامضى أو قلوى.

52- Radiation الطاقة الإشعاعية :

الطاقة الإشعاعية الساقطة على سطح لوحدة المساحة خلال فترة معينة (يوم/ شهر، سنة..الخ). عادة تقدر بالميجاجول على المتر المربع (Mega Joules/m2 - mi/m2) خلال الفترة المحددة.

53- Radiation (Diffuse) الإشعاع المشتت

الإشعاع المنتشر الساقط على سطح ذو ميل محدد خلال فترة محددة من السماء، وفى حالة السطح المائل، المنعكس من الأرض كذلك.

54- Radiation (Direct) الإشعاع المباشر

الإشعاع من الشمس الساقط على سطح ذو ميل معين خلال فترة معينة القادم (استقبل) من زاوية ضيقة مجسمة متطابقة المحور (centered) على اتجاه الشمس.

55- Radiation (Incident) الإشعاع الساقط :

مجموع الإشعاع المنتشر والمباشر محسوباً نسبياً لجزء من نصف الكرة المساوى المعرض له السطح وكذلك محسوبا قطبياً (vectorially) أى زاوية قطبية، زاوية التوجه.

56- Reflectance الانعكاسية

النسبة بين الطاقة الإشعاعية المنعكسة من السطح إلى الطاقة الإشعاعية الساقطة على السطح.

57- Roll Bond Process عملية اللحام بالدرفلة :

لحام ألواح المعدن معاً بالدرفلة وفى نفس الوقت عملية المعالجة الحرارية.

58- Selective Surface السطح الانتقائى:

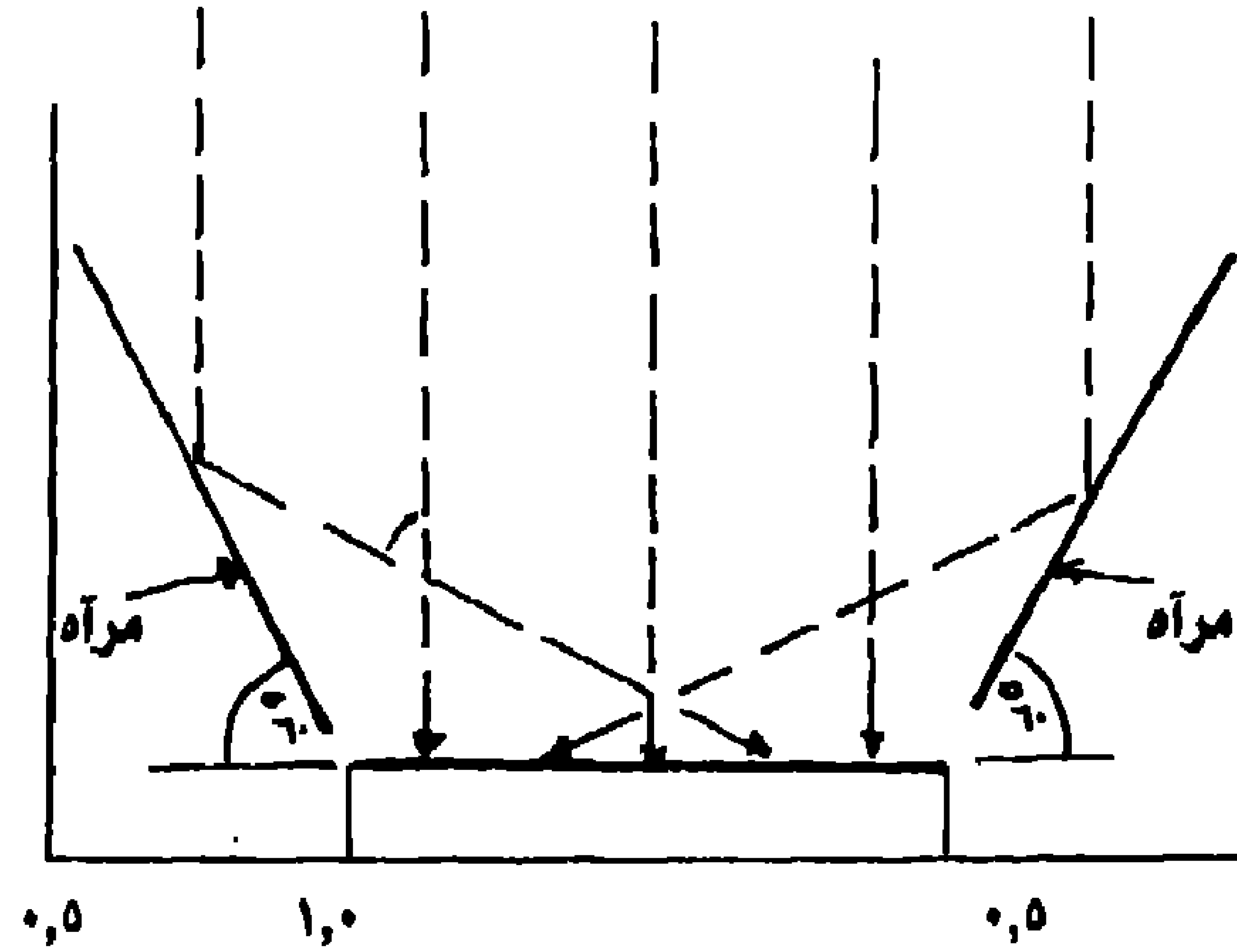
السطح الانتقائى هو السطح الذى له امتصاصية عالية للإشعاع الساقط (أطوال موجة أقل من 1000 نانو ميتر 1000 nm) وانعكاسية عالية (انخفاض الامتصاصية) فى مجال الأشعة تحت الحمراء (ذات أطوال موجة أكبر من 1000 نانو ميتر).

59- Solar Array مصفوفة شمسية :

عدد من تجهيزات التجميع الشمسى المنفصلة منظمة فى إطار معين (لجمع الطاقة الشمسية بكفاءة)

60- Solar collector (Concentrator) المجمع الشمسى (المركز)

نظام العاكس لزيادة كثافة ضوء الشمس على مساحة معينة.



شكل (7/1) مجمع شمسى

61- Solar collector (Concentration Ratio):

نسبة التدفق الحرارى خلال الصورة، إلى التدفق الحرارى الحقيقى الذى أستقبل على الأرض، عند سقوط عمودى.

62- Solar collector (efficiency) كفاءة المجمع الشمسى:

بيان الأداء النسبى أو الخاصية، عادة مبين على مخطط متضمناً التغيرات الهامة المبينة فى معادلة (Whilier Bliss Equation)

$$Q = F (\alpha I - U\Delta T) \quad - 2.1$$

حيث :

Q = الحرارة المفيدة التى تم جمعها

F = تأثير الانتقال الحرارى.

α = ناتج الانتقال الامتصاصية

I = الإشعاع الشمس الساقط

U = معامل الفقد الحرارى

ΔT = فروق درجة الحرارة (متوسط درجة حرارة المجمع - درجة حرارة الهواء العادية).

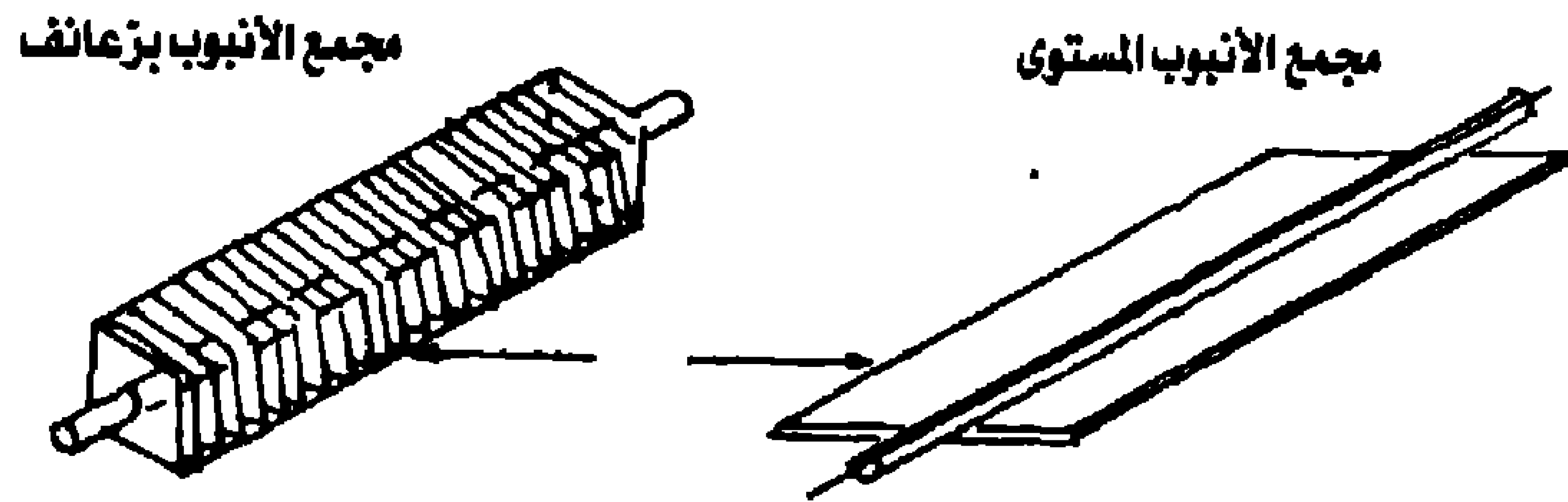
كفاءة المجمع تتغير من شروق الشمس إلى غروب الشمس وخاصة عندما يكون المجمع من النوع الثابت وليس المتتبع. الزيادة العادية فى (ΔT) تؤثر كذلك كثيراً على أداء بعض أنواع المجمعات.

63- Solar collector (Evacuated Tube) المجمع الشمسى بالأنابيب المفرغة:

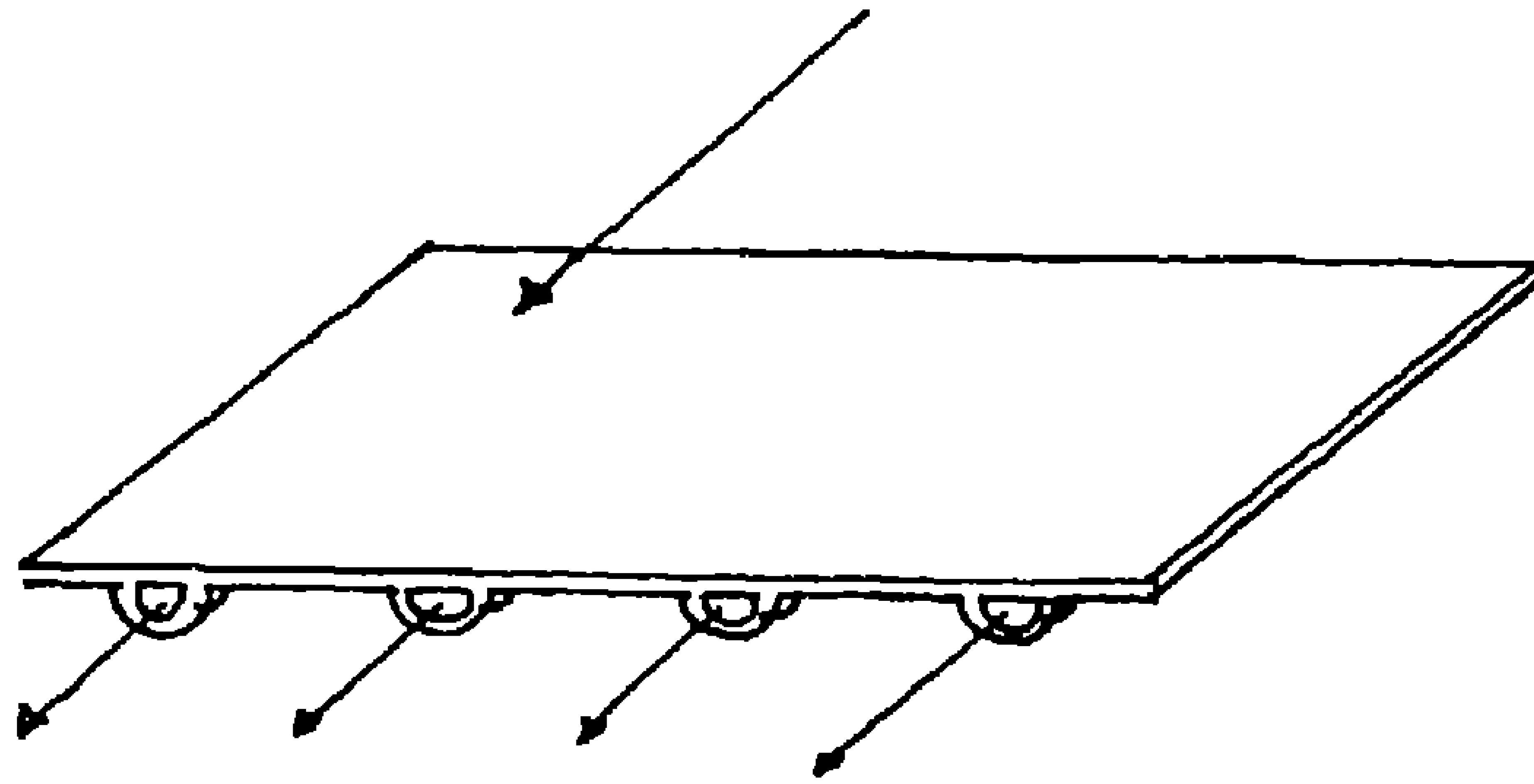
البديل لخفض الفقد الحرارى للمجمع باستخدام التفريغ الجزئى خلال الأنابيب الشفافة المنظمة فى شكل متوازى فوق لوح المجمع. خلال كل أنبوب يوجد عاد واحد أو أكثر من أنابيب الماص (Absorber tubes).

64- Solar collector (Flat plate) المجمع الشمسى باللوح المستوى:

أى تجهز للتجميع الشمسى ذات السطح المستوى بدون تركيز أنظر الشكل (8/1) (9/1).



شكل (8/1) مجمع شمسى بالأنبوب بالزعانف والأنبوب المستوى



شكل (9/1) مجمع اللوح المستوى التقليدى

65- Solar collector (parabolic) المجمع الشمسى (القطع المكافئ)

التجمع الشمسى من نوع التركيز، عادة ينظم فى شكل حوضى، وله خط بؤرى Line focus.

66- Solar collector (Paraboloid) مجسم قطع مكافئ، مجسم مكافئ دورانى:

المجمع الشمسى من نوع التركيز الناتج من دوران القطع المكافئ حول محـــوره. معدل التركيز سيكون مربع ذلك للقطع المكافئ.

67- Solar collector (Tracking): المجمع الشمسى (التتبع):

كثافة الإشعاع الشمسى خارج الغلاف الجوى للأرض عند متوسط المـــسافة بـــين الأرض والـــشمس، تـــساوى (1, 353 KW/m2) أو (1.353×10^3 J/sec/m2) أو (1.940 min/cm2) أو (428 but/ft2).

68- Solarimeter : مقياس الإشعاع الشمسى :

جهاز لقياس الإشعاعية الشمسية، شاملاً كل من المكونات المباشـــرة والمنتـــشرة. مركب أفقيا، وهو يقيس الإشعاعية الكونية (Global Irradiation).

69- Solstice انقلاب الشمس (الصيفى أو الشتوى)

الوقت الذى عنده تصل الشمس أقصى ميل، شمالاً أو جنوباً.

70- Spectral Distribution التوزيع الطيفى :

منحنى الطاقة أو المخطط الذى يبين التغير للإشعاع الطيفى مع أطوال الموجات.

71- Stop cock حابس التدفق، صنبور زنق

محبس قفل يستخدم لعزل دائرة المياه ولأغراض الصيانة.

72- (thermal) Stratification تكون الطبقات:

طريقة مستخدمة فى نظم التخزين الحرارى حيث الماء الساخن الأقل كثافة يطفـــو إلى أعلا الماء البارد الأكثر كثافة.

73- Therma-Mechanical حرارى - ميكانيكى:

عملية التمدد الحرارى أو الانكماش للمعدن أو السائل ذو الحساسية لدرجة الحرارة المستخدم لتشغيل الآلية أو تجهيز التحكم.

74- Thermostat:

حساس كهربى أو غير كهربى لقياس درجة الحرارة وتغيراتها وتـــشغيل الدلالـــة المتعلقة بالتحكم.

75- thermosyphon سيفون حرارى:

نظام دوار حيث لا تستخدم طلمبة تدوير. الماء الساخن لكونه أقل كثافة عن الماء البارد، يرتفع إلى أعلا ويستبدل بالماء البارد، فى عملية التدوير الطبيعى للماء خـــلال النظام.

76- (Transparent reflective surface): سطح شفاف عاكس

طلاء أو تغطية السطح الذى يسمح بمرور الإشعاعات قصيرة الموجة خلاله بينما الأشعة تحت الحمراء (الحرارية) تنعكس.

77- Ultra violet: فوق البنفسجي:

حزمة من أطوال الموجات الكهرومغناطيسية القريبـــة مـــن البنفـسجى المرئـــى (0.10nm + 0.38nm) ذات أهمية خاصة فى استخدامات الطاقة الشمسية نظـــراً لأن مختلف المواد الغير محمية يتغير لونها بسبب استقبال الإشعاع فوق البنفسجى، إذا كانت المواد غير مستخدمة، فإنها عندئذ يحتمل أن يحدث لها تلف بسبب التحلل أو التفتت.

الفصل الثانى

الانتقال الحرارى واستخدام الطاقة الشمسية

1- مقدمة :

لتقدير مقدار، وكفاءة وتكلفة المعدة اللازمة لنقل كمية معينة من الحرارة فى وقت معين، فإنه يجب عمل تحليل الانتقال الحرارى. أبعاد الجامع الشمسى، المبادل الحرارى أو المبرد تعتمد ليس كثيراً على كمية الحرارة المطلوبة نقلها ولكن على المعدل الذى تنقل به الحرارة تحت ظروف خارجية معينة. من وجهة النظر الهندسية، تعيين معدل الانتقال الحرارى عند فرق معين فى درجات الحرارة هو مفتاح المشكلة فى تقدير حجم الجامع الشمسى لتوفير درجة حرارة معينة فى مبنى أو منزل.

الانتقال الحرارى يحدث أساساً بثلاث آليات. الأولى بواسطة التوصيل (Conduction) خلال المواد الصلبة فى وجود فرق فى درجة الحرارة. الثانية هى الإشعاع (Radiation) حيث تتحرك الطاقة فى الفضاء بواسطة الموجات الكهرومغناطيسية. فى السائل المتحرك، تكتسب جزئيات السائل حرارة أو تفقدها بالتوصيل أو الإشعاع وتحملها بتحركها من مكان إلى آخر. الآلية الثالثة هى الحمل (Convection) . الانتقال الحرارى يمكن تنفيذه بواسطة ظاهرة طبيعية أخرى مثل توليد الحرارة خلال المجال، تكثيف البخار، تبخير السائل..الخ.

2- التوصيل (Conduction) :

معادلة التوصيل الحرارى الأساسية هى:

$$q = K_x A \frac{\delta T}{\delta x} \qquad (1)$$

حيث :

q = معدل الانتقال الحرارى.

Kx = التوصيل الحرارى للمادة فى الاتجاه (x)

A = هى المساحة العمودية فى اتجاه تدفق الحرارة.

$\delta t/\delta x$ = هو التدرج فى درجة الحرارة فى اتجاه سريان الحرارة.

التوصيل الحرارى فى الأسطح الممتدة :

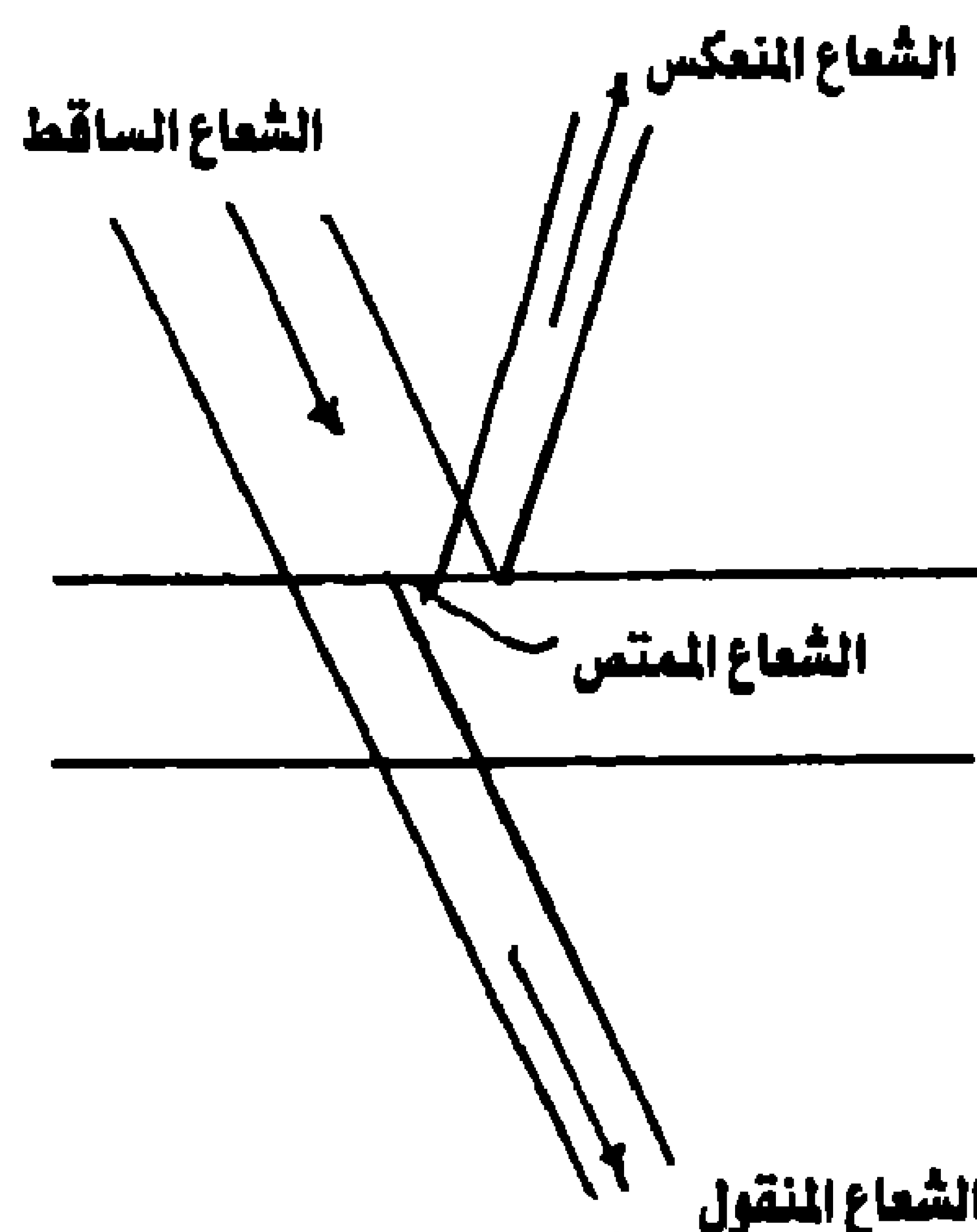
تستخدم الزعانف (Fins) فى بعض الجامعات الشمسية لزيادة سطح الانتقال الحرارى.

3- الإشعاع (Radiation) :

الإشعاع هو العملية التى بها تسرى الحرارة من جسم عند درجة أعلا إلى جسم آخر عند درجة حرارة أقل وذلك فى حالة انفصال الجسمين عن بعضهما فى الفضاء أو حتى فى حالة وجود تفريغ (Vacuum) بينهما. مصطلح الإشعاع يطبق عموماً على كل أنواع ظاهرة الموجات الكهرومغناطيسية، ولكن فى الانتقال الحرارى تكون تلك الظاهرة هى التى تكون نتيجة درجة الحرارة والتى يمكنها نقل الطاقة خلال مجال مثل الهواء أو الفضاء. الطاقة المنقولة بهذه الطريقة تسمى الإشعاع الحرارى (Radiant Heat). الإشعاع هو من أشكال الانتقال الحرارى الذى تنقل به طاقة الشمس إلى الأرض. كمية الطاقة التى تترك السطح كإشعاع حرارى تعتمد على درجة الحرارة المطلقة وطبيعة السطح. المشع الجيد (Perfect Radiator) الذى يسمى الجسم الأسود (Black Body) يبعث طاقة إشعاعية من سطحه. الأجسام الحقيقية لا ينطبق عليها صفات المشع المثالى وتبعث إشعاع بمعدل أقل عن الأجسام السوداء. نسبة انبعاث الإشعاع من الجسم الحقيقى إلى انبعاث الإشعاع من الجسم الأسود عند نفس درجة الحرارة يسمى الانبعاث (Emittance).

استقبال الطاقة الإشعاعية :

الإشعاع الساقط على سطح الجسم يمكن أن يحدث له امتصاص جزئى وانتقال جزئى وانعكاس جزئى كماهو موضح فى الشكل (2/1).



شكل (1/2) إجمالى الاشعاع المستخدم فى طرق مختلفه

الجزء الممتص من الإشعاع الساقط يسمى الامتصاصية (Absorbitivity) (α) وبالمثل القسم من الإشعاع الساقط المنعكس يسمى الانعكاسية (P) والقسم المنقول يسمى الانتقالية (Transmissivity) ,$(T)^{Tt}$. إذا كانت الإشعاعات الكلية الساقطة فى وحدة الزمن على وحدة المساحة من السطح هى (I)، وكلا من I_α ,I_p , I_τ تمثل كمية الإشعاع على التوالى الممتصة والمنعكسة والمنقولة عند

$$\alpha = \frac{I\alpha}{I}$$

$$P = \frac{IP}{I}$$

$$\tau = \frac{I\tau}{I}$$

العلاقة فى المعادلة السابقة تنطبق على الأسطح أو الطبقات ذات السمك المحدد. يجب ملاحظة النقط الآتية:

(i) قيم α ,P ,τ دائماً موجبة وتقع ما بين الحدود صفر، واحد أى

(ii) P = صفر (أى t+ α =1) يمثل سطح غير عاكس

P = واحد (أى t = α = صفر) تمثل سطح عاكس جداً.

T = صفر (أى p + α =1) يمثل سطح معتم وغير منفذ للضوء.

P = واحد (أى p = α = صفر) يمثل سطح شفاف جداً

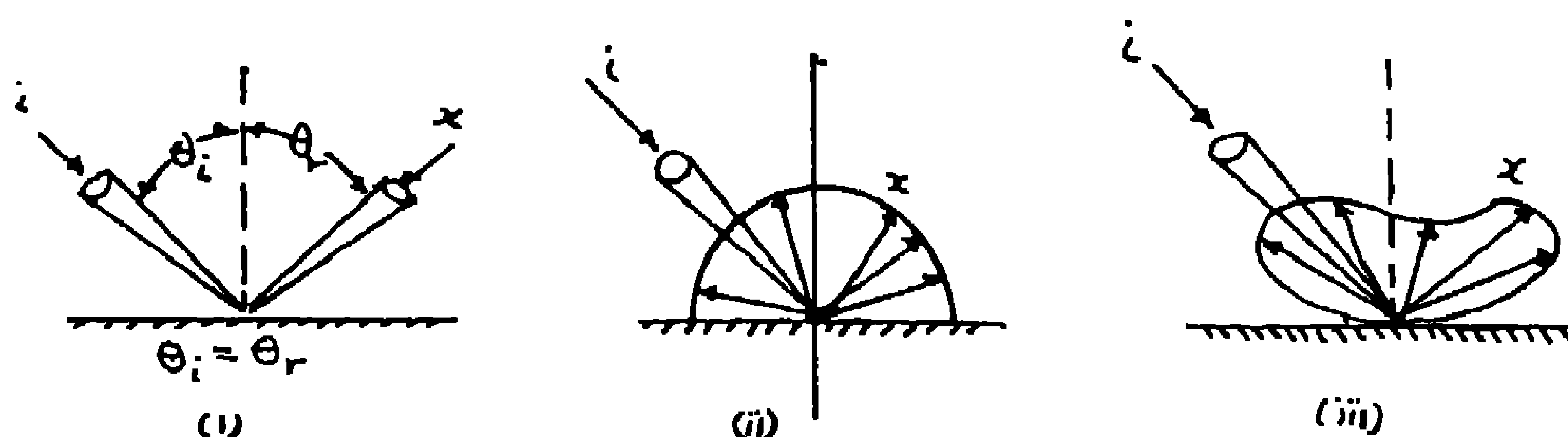
α = صفر (أى p + t = 1) يمثل سطح غير ماص (كذلك يسمى السطح الأبيض إذا كان ينشر الضوء)

α = واحد (أى p = t = صفر) يمثل سطح ماص جيد (يسمى كذلك السطح الأسود إذا كان ينشر الضوء).

4- الانعكاس (Reflectivity) :

سوف نتناول انعكاسية السطح المعتمد الغير منفذ للضوء (Opaque) (أى t = صفر) والسطح النصف شفافة (Translucent) (أى صفر <t< I)

انعكاسية السطح المعتم تتوقف ليس فقط على درجة الحرارة وخواص الأسطح ولكن كذلك على طول الموجة واتجاهها للإشعاع الساقط والمنعكس. طبقاً لطبيعة الإشعاع المنعكس، الأسطح المعاكسة يمكن تقسيمه إلى إما ناشر (Diffuser) أو براق أو ذو سطح أملس عاكس (Specular) شكل (2/2).



شكل (2/2) انواع الاشعاع

يسمى السطح عاكس ناشر إذا كانت كثافة الإشعاع المنعكس ثابتة، لكل زوايا الانعكاس وتتوقف على اتجاه الإشعاع الساقط. على الجانب الآخر يسمى السطح أنه سطح عاكس إذا كانت الأشعة الساقطة والمنعكسة تقع متماثلة بالنسبة للعمودى نحو السطح عند نقطة السقوط والشعاع المنعكس يكون محتوياً فى زاوية مجسمة (Solid Angle) مساوية للزاوية المجسمة للشعاع الساقط. السطح الخشن يسلك كثيراً مثل العاكسات الناشرة (Diffuse reflectors) أكثر منه كالعاكسات العاكسة (Specular). لا يوجد سطح حقيقى إما ناشر جيد أو عاكس جيد، لذلك فإن تلك الفرضيات المثالية عادة يؤخذ بها لتبسيط الحسابات.

فى أعمال الإشعاع عادة يعمل السطح الناشر على نحو مثالى. السطح الذى يعكس كل الطاقة الساقطة (حيث P = 1)، يسمى سطح أبيض، (White Surface). بالمثل، إذا كانت P = صفر فإن السطح يكون غير عاكس. إذا كان بالإضافة إلى أن P = صفر، T = صفر كذلك عندئذ α = واحد، ويكون لدينا سطح معتم. السطح الذى يمتص كل الطاقة الساقطة يسمى السطح الأسود (Black Surface). هذا الجسم يعرف بأنه الذى يمتص كل الطاقة الساقطة عليه ولا يعكس شئ. مثل هذا الجسم يستخدم بكثرة فى انتقال الإشعاع الحرارى كجسم مثالى الذى به يمكن مقارنة خواص الإشعاع للأجسام الحقيقية. الدور يشبه للدور الذى تلعبه دورة كارنوت المثالية للديناميكا الحرارية التى يمكن بها مقارنة كفاءة دورات الديناميكا الحرارية الحقيقية.

أ- الانعكاسية للمواد النصف شفافة :

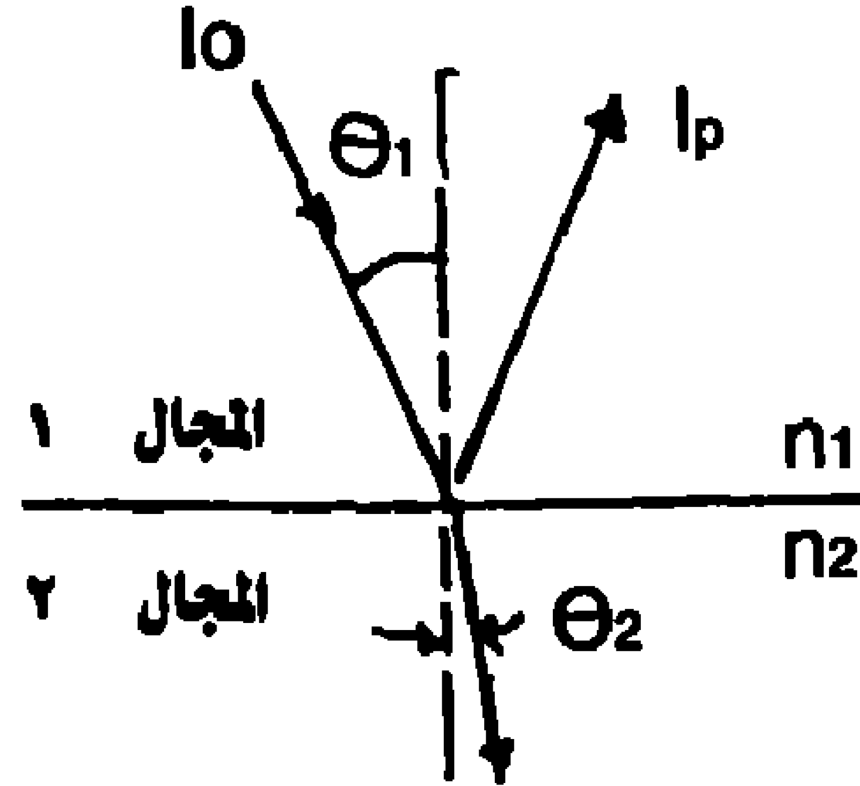
Reflectivity of translucent materials:

نظراً لأنه فى معظم الاستخدامات سيكون هناك لوح من المواد له وجهين، والانعكاس عند كلا الوجهين يجب أن يؤخذ فى الاعتبار. هذا إلى أن المشكلة تصبح معقدة بحقيقة أن الإشعاع يحدث له العديد من الانعكاس عند كلا الوجهين تلك.

الانعكاس عند الأسطح البينية: (Reflection at Inter faces)

لقد أوجد (fresnel) العلاقة لانعكاس الإشعاع الغير استقطابى (Non Polarized radiation) عند المرور من مجال إلى آخر الشكل (3/2).

$$(1)\frac{IP}{Io}=P=\frac{1}{2}\left[\frac{\sin^2(\theta_2-\theta_1)}{\sin^2(\theta_2-\theta_1)}+\frac{\tan^2(\theta_2-\theta_1)}{\tan^2(\theta_2-\theta_1)}\right]$$



الشكل (3/2) زوايا السقوط والانعكاس فى وسطين

حيث θ_1 = هى زاوية السقوط

θ_2 = هى زاوية الانحراف بالانكسار (Angle of refraction)

المقادير بين قوسين تمثل الانعكاس لكل من مكونين الاستقطاب. الزاوية θ_1,θ_2 مرتبطين بمعاملات الانحراف الانكسارى.

$$\frac{n_1}{n_2}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$$

لذلك فإنه فى حالة معرفة زاوية السقوط والانكسار من العلاقات السابقة فإنه يمكن حساب الانعكاسية عند سطح بينى واحد للإشعاع عند السقوط العمودى.

$\theta_1 = \theta_2 =$ صفر

فى حالة جمع الشكل (2/2) ، (3/2) لإعطاء

$$P=\frac{IP}{Io}=\left[\frac{(n_1-n_2)}{(n_1+n_2)}\right]^2$$

5- الانتقالية : (Transmissivity)

الانتقالية مثل الانعكاسية والامتصاصية هو دلالة لطول الموجة وزوايا السقوط للإشعاع القادم. المتغيرات الأخرى ذات التأثير على الانتقال هى معامل الانكسار (n) ومعامل الانطفاء (Extinction coef) (K) للمجال ولكن يمكن القول أن كلاً من (K) , (n) هما كذلك دلالات لطول الموجة (λ).

السطح بانتقالية τ = صفر يعرف بأنه السطح المعتم. لمثل هذه الأسطح فإن مجموع الامتصاصية والانعكاسية يجب أن يساوى واحد. ولكن إذا كانت $\tau = 1$ فإن المجال يكون شفافا تماماً. معظم المواد الحقيقية هى شفافة جزئياً فقط حيث صفر $< t <$ 1.

الانتقالية فى المواد الشفافة نسبيا (Translucent) تتوقف على كل من الانعكاس والامتصاص للإشعاع. المشكلة يتم تناولها فى مرحلتين.

(i) الانتقالية (τ_p) يتم أولاً حسابها مع إعتبار الانعكاس فقط.

(ii) الانتقالية (τ_α) يتم عندئذ حسابها مع اعتبار الامتصاص فقط.

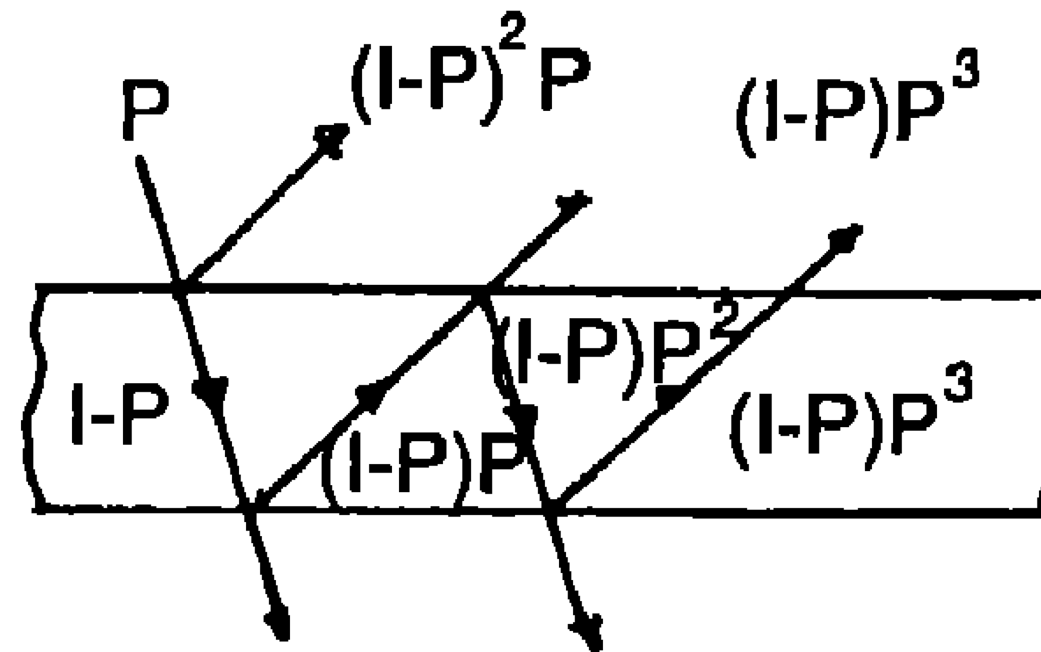
الانتقالية (τ)، باعتبار كلاً من الانعكاس والامتصاص هى كالآتى:

$$\tau = \tau_p, T\alpha$$

وقد وجد أن تلك المعادلة السابقة هى علاقة كافية لتصميم الجامعات الشمسية.

حساب (τ_p):

مواد التغطية المستخدمة فى التطبيقات الشمسية تتطلب انتقال الإشعاع خلال طبقة من المادة ولذلك يوجد سطحين تقابل لكل غطاء لتسبب فقد الانعكاس. فى هذه الحالة، فإن نضوب واستنزاف الشعاع عند السطح الثانى هو نفسه مثل ذلك عند الأول، لكل مكون للاستقطاب، بفرض أن أسطح التغطية هى مع الهواء على كلا الجانبين. مع إهمال الامتصاص فى الطبقة كما هو موضح فى الشكل (4/2)،ومع اعتبار وحدة شعاع واحد ساقطة، وأن (1- P) من الشعاع الساقط تصل إلى السطح الثانى. لهذه $(- P)^2$ يمر خلال تلاقى الوجهين، P(1-P) تنعكس نحو الأول وهكذا. يجمع النتائج، فإن الانتقالية لغطاء واحد مع إهمال الامتصاص هى:



شكل (4/2) الانتقال خلال غطاء واحد

$$T_{p,1} = (1-P)^2 + (1-P)^2 P^2 + (1-P)^2 P^4 + \ldots$$
$$= (1-P)^2 (1 + P^2 + P^4 + \ldots)$$

$$= (1 - P)^2 \Sigma \sum_{n=o}^{\alpha} P^{2n} = (i-p)\frac{1}{1-P^2}$$

وبطريقة مشابهة يمكن توضيح أنه لنظام ذو أغطية (n)، الكل هو من نفس المادة

$$\tau_{p,n} = \frac{1-P}{1+(2n-1)P}$$

حساب Tα :

امتصاص الإشعاع فى مواد شفافة نسبياً يوصف بقانون (Bouger)

$$dI = Ik\,dx$$

حيث dI هى النقصان فى كثافة الإشعاع، I هى القيمة المحلية للكثافة، (K) هى معامل النضوب، و x المسافة التى يقطعها الإشعاع. مع فرض أن (K) لتكون ثابتة فى مجال (λ) للطيف الشمسى. فإنه يمكن تكامل المعادلة السابقة لإعطاء

$$\int_{O}^{L}\frac{-dI}{I} = k\int_{O}^{L}dx$$

$$[LogI]_o^L = [-Kx]_o^L$$

أو $LogI_L - \log I_o = -KL$

أو $Log(I_L / I_o) = -KL$

أو $\frac{I_L}{I} = e^{-KL}$

أو $\tau_\alpha = \frac{I_L}{I} = e^{-KL}$

لاحظ أن (tα) هى الانتقال مع اعتبار الامتصاص فقط، (L) هى المسار الحقيقى للإشعاع خلال المجال

بالنسبة للأغطية (n) $T\alpha = e^{-nkL}$

عندما تكون زاوية الانكسار θ_2 هى

$$T\alpha = e^{-nkL/\cos\theta_2}$$

قيمة K للزجاج تتغير من حوالى 0.01/ سم للزجاج الرائق جداً والذى يسمى (White glass) إلى 0.32/ سم للزجاج ذوى النوعية المتدنية. لاحظ أن Tα هى الانتقال مع اعتبار الامتصاص فقط و (L) هى المسار الحقيقى للإشعاع خلال المجال.

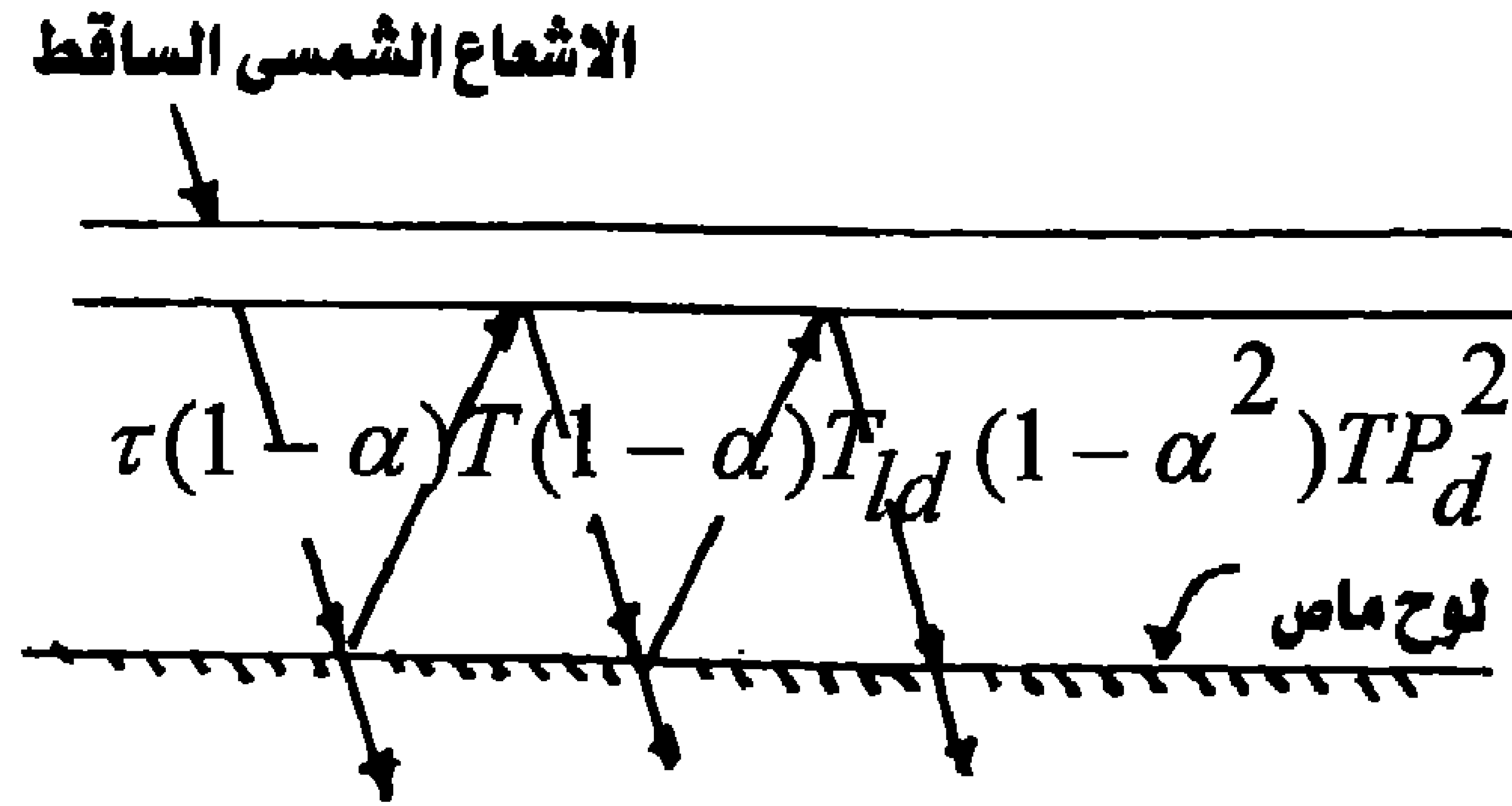
والآن فإن الانتقال الذى يسمى لكل الانعكاس والامتصاص يمكن الحصول عليه بالمعادلة.

$\tau = \tau p , \tau\alpha$

ناتج الانتقال – الامتصاص

لتحليل المجمع الشمسى، يكون من الضرورى تقييم ناتج الانتقال– الامتصاص (T, α) للإشعاع المار خلال نظام الغطاء وساقط على اللوح، البعض ينعكس مرتداً إلى نظام الغطاء. ولكن، كل هذا الإشعاع لا يسقط نظراً لأن بعضه ينعكس ثانيا نحو اللوح.

هذا موضح فى الشكل (5/2)، حيث (τ) هى الانتقال لنظام الغطاء كما يمكن معرفته من المعادلة $(\tau = \tau p , \tau\alpha)$, α هى الامتصاص الزاوى (Angular Absorplance) للوح المص τ . α تمتص بواسطة لوح الامتصاص و $(1 - \alpha)t$، تنعكس ثانياً نحو أنظمة الغطاء.



شكل (5/2) امتصاص الاشعاع الشمسى باللوح الماص

الانعكاس من اللوح الماص يحتمل أن يكون أكثر انتشاراً عن العاكس بحيث أن الجزء $(1- \alpha)t$ الذى يسقط على لوح الغطاء هو إشعاع انتشار و $(1- \alpha)t.Pd$ تنعكس ثانياً نحو اللوح الماص.

كمية Pd تشير إلى انعكاس اللوح الماص لإشعاع الانتشار الساقط الذى يمكن أن يستقطب جزئياً إلى انعكاسات عند مروره خلال نظام الغطاء.

لذلك فإن نتيجة الجمع هى

$$<t\alpha> = t\alpha + t\alpha (1- \alpha)pd + t\alpha (1- \alpha)^2 pd^2 + t\alpha (1-\varepsilon)^3 pd^3 + ...$$

$$= t\alpha[1+(1- \alpha)pd = (1-\alpha)^2 pd^2 + (1-\alpha)^3 pd^3]$$

$$=t\alpha\sum_{n=o}^{n=\infty}\left[(1-\alpha)pd\right]^{n}=t\alpha\frac{1}{1-(1-\alpha)pd}$$

$$=\frac{t.\alpha}{1-(1-\alpha)pd}$$

بسبب الانعكاس فإن <tα> سوف تكون أكبر من τα لزاوية سقوط 60^{o} ، Pd تقريبا تكون 0.16 ، 0.24 ، 0.29 ، 0.32 لواحد، اثنين، ثلاث، أربع زجاجات على التوالى.

الإشعاع الممتص فى نظام غطاء الزجاج ليس مفقوداً كلية للنظام. مع الارتفاع القليل فى درجة الحرارة لألواح الغطاء يساعد فى خفض معدل الفقد العلوى للحرارة من لوح الجمع. هذا الخفض فى فقد المجمع يرجع إلى الامتصاص فى الغطاء يمكن أن يكون تقليديا بفكر الزيادة الصناعية فى الانتقال. هذا يسبب المصطلح "الانتقال المؤثر" أو نتائج الانتقال المؤثر – الامتصاص، $(\tau\alpha)e$ يتم حسابها من المعادلة التالية:

$$(\tau\alpha)e = (\tau\alpha) + (1 - e^{K1L1}) + a_2\, T_1\, (1-e^{-K2L2}) + a_3\, T_2\, (1-e^{-K3L3})$$

حيث (a's) هى ثوابت ورقم الحرف 1 ,2 ,3 يشير إلى الطبقات الأولى (الخارجية)، الثانية، الثالثة ... الخ لنظام الغطاء الشفاف.

5- الحمل الحرارى (Convection)

الحمل الحرارى هو العملية التى تنقل الحرارة من منطقة إلى أخرى بحركة السائل. معدل الانتقال الحرارى بالحمل الحرارى (q_c) بين سطح وسائل يمكن حسابه من العلاقة

$$q_c = h_c\, A(\, T_s - T_f)$$

حيث:

q_c = مساحة قاعدة الانتقال الحرارى بالحمل الحرارى بالمتر المربع (م^2)

T_s = درجة حرارة السطح ^{o}م

T_f = درجة حرارة السائل ^{o}م.

h_c = معامل الانتقال الحرارى بالنقل الحرارى كيلو كالورى/ الساعة متر مربع درجة مئوية.

المقاومة الحرارة للانتقال الحرارى بالحمل الحرارى، R_c طبقاً للمعادلة.

$$R_c = 1/h_c A$$

سطح مجمع الطاقة الشمسية يفقد حرارة بآلية الحمل الحـراري والإشـعاع نحـو المجال المحيط. المعدل الإجمالى للانتقال الحرارى q طبقاً للمعادلة

$$q = q_r + q_c = = \frac{Tcoll - Tout}{Rcr}$$

حيث :

R_{cr} = مجموع المقاومة لكلا الآليتين، الحمل الحرارى والإشعاع اللـذان يعمـلان بالتوازى.

T_{coll} = متوسط درجة الحرارة لسطح المجمع

T_{out}= درجة حرارة الهواء الخارجى

الحمل الحرارى الطبيعى بين أسطح متوازية مستوية:

معدل الانتقال الحرارى بين لوحين مائلين بزاوية ما نحو الأفقى له أهمية كبيرة فى كفاءة مجمعات اللوح المستوى.

6- المبادلات الحرارية:

انتقال الحرارة من حمام ساخن إلى سائل يسرى خلال الحمام هو عملية هامة فـى استخدام الطاقة الشمسية، فمثلاً، الحمام الـساخن يمكـن أن يكـون اللـوح المـاص (Absorber Plate) لإطار التسخين الشمسى والسائل الذى يسرى عبر اللوح يمكن أن يكون سائل النقل المستخدم لاستخلاص الحرارة. النظام اللازم وضـعه هنـا يـسمى المبادل الحرارى وحيـد التيـار. أى (Single current Heat Exchanger) لتبـسيط الأمور، سوف نفترض أن درجة حرارة الحمام (T_B) تظـل ثابتـة. يتكـون المبـادل الحرارى من ماسورة مغمورة فى الحمام الساخن. يدخل السائل الماسورة عند درجـة حرارة دخول (T_{fi})، ويترك عند المخرج عند درجة حرارة (T_{fe}) المعدل الذى به يـتم استخلاص الحرارة بواسطة لسائل هو

$$Q = mC_f (T_{fe} - T_{fi})$$

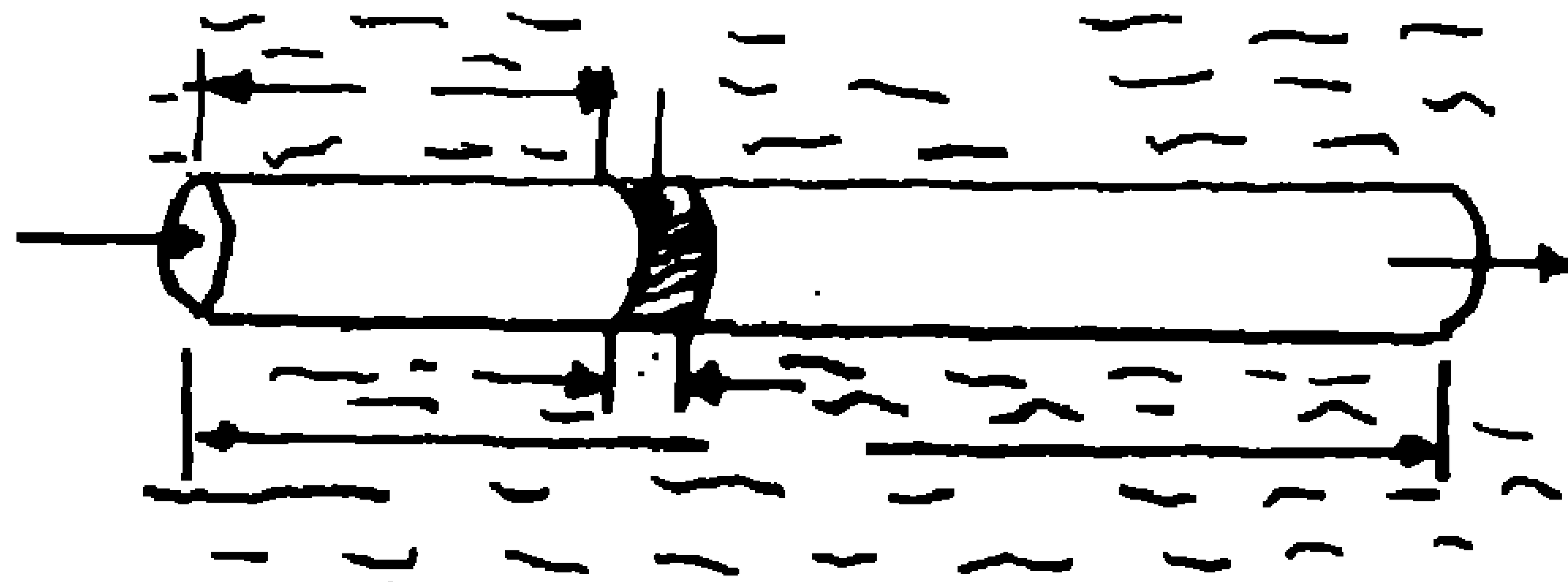
حيث:

M = معدل تدفق الكتلة.

C_f= الحرارة النوعية للسائل

إذا كانت كلا من (m) , (C_f) مقدرة بـ كجرام/ثانية، جول كيلو جـرام ^{5}م علـى التوالى، فإن معدل الاستخلاص سيكون بالوات.

لإيجاد درجة حرارة المخرج ومعدل الاستخلاص لدرجة حـــرارة دخـــول معينـــة ومعدل تدفق معين، فسوف نتناول جزء من ماسورة شكل (6/2)



شكل (6/2) الاتصال الحرارى من الحمام الساخن
إلى عنصر مائع متدفقاً فى ماسورة أنبوب مياه حرارى

معدل الانتقال الحرارى من الحمام إلى السائل خلال الجزء dt هو

$$dQ = U_L(T_B - T)\, dI$$

حيث U_L= معامل الانتقال الحرارى لوحدة الطول للماسورة

T = درجة حرارة الجزء فى حالة الثبات.

باستخدام المعادلة السابقة، يمكن تقدير الزيادة فى درجة الحرارة للسائل عند عبورة ذلك العنصر.

$$dQ = mC_f\, d_T = U_L\,(T_B - T)\, dI$$

أو

$$\frac{dt}{t - t_B} = \frac{U_L}{mcf} dI$$

إذا كانت درجة حرارة الحمام هى نفسها فى كل مكان على طول الماســـورة، وإذا كانت (C_f) , (U_L) يمكن تقريبهم ليكونا ثابتين على طول الماسورة، فإن العلاقة السابقة يمكن تكاملها لإعطاء.

$$In\frac{(T_B - T_{fe})}{(T_B - T_{fi})} = \frac{U_L.L}{mcf}$$

$$T_{fe} = T_B - (T_B - T_{fi})\, e^{-U.L}$$

استبدال هذه النتيجة إلى المعادلة السابقة $Q = mC_f\,(T_{fe} - T_{fi})$ فإننا نجد

$$Q = mC_f\,(T_B - T_{fi})\,(1- e^{-UL.L/mCf})$$

العلاقات الموضحة فى المعادلتين السابقتين تكون صحيحة وفعالة شـــريطة أن U_L تكون ثابتة على طول الماسورة وعلى درجة الحرارة، السرعة ونوع السائل المستخدم فى الماسورة. بالنسبة لسرعة سائل دون القيمة الحرجة فإن التدفق ســـيكون رقـــائقى

(Laminar)، والذى يعنى أن السائل سوف ينزلق فى طبقات أسطوانية متحدة المركـــز خلال الماسورة. الانتقال الحرارى ليس كفؤ تحديداً، U_L تكون صغيرة. عنـــدما تزيـــد سرعة السائل عن القيمة الحرجة، فإن تدفق السائل يصبح مضطرب (Turblent) ويبدأ التحرك بعنف واضطراب (Churn)، وبذا زيادة قيمة (U_L).

السرعة الحرجة تتحدد بواسطة رقم رينولد الذى هو

$$Re = \frac{VDP}{\mu}$$

حيث V, P , μ هم السرعة، الكثافة، اللزوجة للسائل على التوالى، D هـــو قطـــر الماسورة. فى الماسورة الناعمة الطويلة، التدفق الرقائقى (Laminar) ينتج عندما تكون $Re << 2000$ ويبدأ التدفق المضطرب عند $Re >> 2000$. بالنسبة لسائل معين ومعادلة الماسورة (معادلة رقم رينولد) يمكن حلها للسرعة الحرجة. بينما الاضطراب يزيد من الانتقال الحرارى، فإنه كذلك يزيد مقاومة الماسورة لتدفق السائل.

للتبسيط سوف نعتبر قيمة ثابتة لـــ (U_L) للمبادل.

مثال 1:

ماسورة طويلة ملفوفة بطول 3 متر بها ماء ($Cf = 4185 J/Kg^oc$) بمعـــدل 0.01 كجرام/الثانية. درجة حرارة الماء الداخل هى10^oم وجدران الماسورة تظل عند 50^oم. التدفق منتظم رقائقى ومتوسط معامل الانتقال الحرارى (U_L) هو = ($6 w/m^oc$). أوجد درجة حرارة الماء عند خروجه وعين معدل استخلاص الحرارة.

لذلك أحسب المعايير السابقة لخفض المعدل إلى 0.005 كيلو جرام/الثانية.

الحل:

من المعادلة نرى

$$T_{f.e} = T_B - (T_B - T_{fi})\, e^{[-UL.L/mCf]}$$

$$= 50 - (50 - 10)\, e^{[-6x3/0.1x4186]}$$

$$= 50 - 40\, e^{-18/41.86}$$

$$= 50 - 40x\, 0.65$$

$$= 50 - 25$$

$$= \underline{24^oC}$$

ومعدل الاستخلاص الحرارى

$$Q = mC_f\,(T_{fe} - T_{fi})$$

= 0.01 x 4186 x (24-10)

= 576

وللحالة الثانية

$T_{fe} = 50 - (50 - 10)e^{-180.005 \times 4186}$

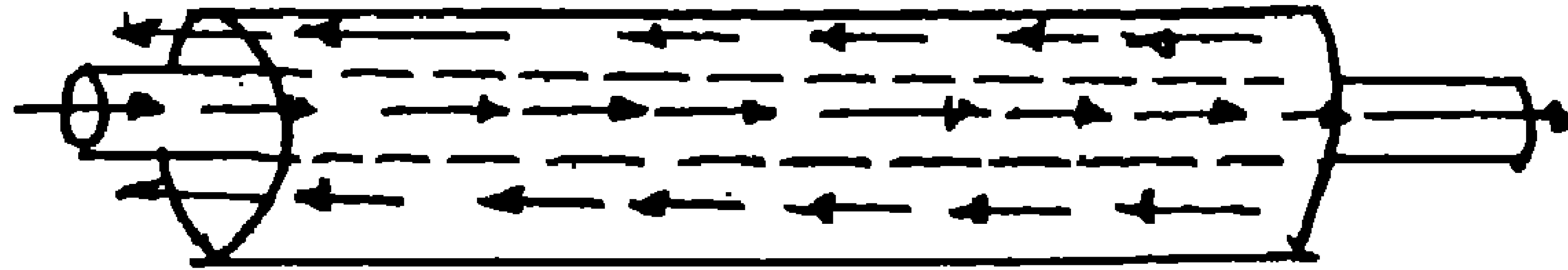
= 33oC

Q = 0.005 x 4186 (33-10)

= 482

من المثال السابق نرى أنه مع خفض المعدل الذى يتدفق به السائل فى مبادل حرارى وحيد التيار فإن درجة حرارة الخروج تزداد، ولكن، معدل تجميع الحرارة يقل. هذه الظاهرة كما سنرى فى الفصل الخامس بالتسخين الشمسى للمياه، تلعب دوراً هاماً فى عملية التسخين الشمسى الإشعاعى مع خفض معدل التدفق لسائل النقل خلال التدفئة الشمسية الإشعاعية، فإننا نزيد درجة حرارة المخرج ولكن نقلل من معدل تجميع الحرارة.

يكون عادة المطلوب انتقال الحرارة من سائل ساخن إلى سائل أبرد وذلك بالسماح للسائلين للتدفق خلال كل منهما الآخر. ويتم ذلك عادة بالسماح للسوائل بالتدفق فى الاتجاه المعاكس فى منطقة منفصلة للمواسير متحدة المركز شكل (7/2).



شكل (7/2)

هذه التجهيزة تعرف بالمبادل الحرارى ذو التدفق المعاكس. يمكن معرفة أن معدل الانتقال الحرارى للماسورة بطول L هو كالآتى:

$$Q' = U_L . L \left\{ \frac{(T_h - T_h') - (T_c - T_c')}{Ln[(T_h - T_h')/(T_c - T_c')]} \right\}$$

$= U_L . L . LMDT$

$= UL' . LMDT$

$UL' = U_L . L$

حيث:

هنا U_L هى معامل الانتقال الحرارى المؤثر لوحدة الطول $T_{C'}$, T_h , $T_{h'}$, T_C تشير إلى درجات الحرارة الساخنة والباردة للسوائل الداخلة والخارجة من المبادل الحرارى.
الكمية بين القوسين تسمى لوغاريتم متوسط الفرق فى درجة الحـــرارة (LMTD - Log Mean temperature Difference) فى المبادل.

الفصـل الثالث

تحليل الاشعـاع الشمسى

1- بنيه الشمس (Structure of the Sun)

الشمس عبارة عن كرة من المادة الغازية عالية السخونة، متولدة الحرارة باستمرار بتفاعلات الإندماج النووى الحرارى، الذى يحول ذرات الهيدروجين إلى ذرات الهليوم. هذه الطاقة يتم إشعاعها من الشمس فى كل الاتجاهات وجزء صغير جداً منها يصل إلى الأرض. أنه بالنسبة لاستخدام هذا الجزء الصغير من إجمالى الطاقة الشمسية التى تصل إلى الأرض سوف يكون حديثنا.

طاقة الإندماج (Fusion Energy) هى الطاقة النووية المنطلقة بالاندماج (أو الجمع) لنوتين خفيفتين (أى نويات ذات رقم كتلى منخفض) لإنتاج نواة أثقل. الإندماج نويتين فإنه يجب أن يقتربا من بعضهما بما يمكن من التفاعل. ولكن الشحنات المتماثلة تتنافر، ونظراً لأن كل النويات تحمل شحنة موجبة، فإن قوة التنافر الزائد تحدث عند اقتراب النويتين من بعضهما. ولذلك، لحدوث الاندماج النووى، فإنه يجب أن يكون للنويات الطاقة الحركية الكافية للتغلب على قوة التنافر الكهربية التى تجعلهما منفصلين. لتقليل قوة التنافر وبذلك تسهيل الإندماج، فإن نويات التفاعل يجب أن يكون لها شحنات موجبة صغيرة (أى أرقام ذرية صغيرة). عنصر الهيدروجين له أدنى رقم ذرى، ذلك لأن النويات لنظائرة الثلاث كلها تحمل شحنة موجبة واحدة. لذلك، فإن نظائر الهيدروجين التى لها كذلك نويات خفيفة، تصبح مناسبة لإنتاج الطاقة بإندماج نويتين خفيفتين لتكوين نواة أثقل.

الأرض تستقبل طاقة إشعاعية من الشمس البعيدة والتى هى كتلة ساخنة من غازات الهيدروجين والهليوم بنسبة 1:3 وفى الشمس، يتم توليد الطاقة فى لبها المركزى الذى يمكن اعتباره كمفاعل نووى ضخم. الطاقة المنطلقة تكون طبقاً للتفاعل الآتى:



$$4\,{}_1H^1 \longrightarrow 2H_e^4 + 26.7Mev$$

الطاقة من التفاعل السابق تنتج من حقيقة أن أربعة بروتونات لها كتلة غير متحدة 4.0304 وكتلة نواة الهليوم هى 4.0027. لذلك 0.277 وحدات كتلة المادة تحولت إلى طاقة طبقاً للطاقة (E)، الكتلة (m) والعلاقة بينهما ($E = mC^2$) طبقاً لمعادلة اينشتين، حيث C سرعة الضوء. إنها تلك الطاقة التى تتدفق باستمرار خارج الشمس، جزء الطاقة الذى يتقاطع مع الأرض يمر خلال عمليات طاقة أرضية لاستمرار الحياة والنشاط.

الخواص الرئيسية للشمس هى :

الكتلة $M = (1.991 \pm 0.002) \times 10^{30} Kg$

نصف القطر $R = (6.960 \pm 0.001) \times 10^{8} m$

متوسط الكثافة $P = 1.410 \pm 0.002\ gm/cm^{3}$

الشمس درجة الحرارة على السطح $T = 5762 \pm 50\ ^{o}K$

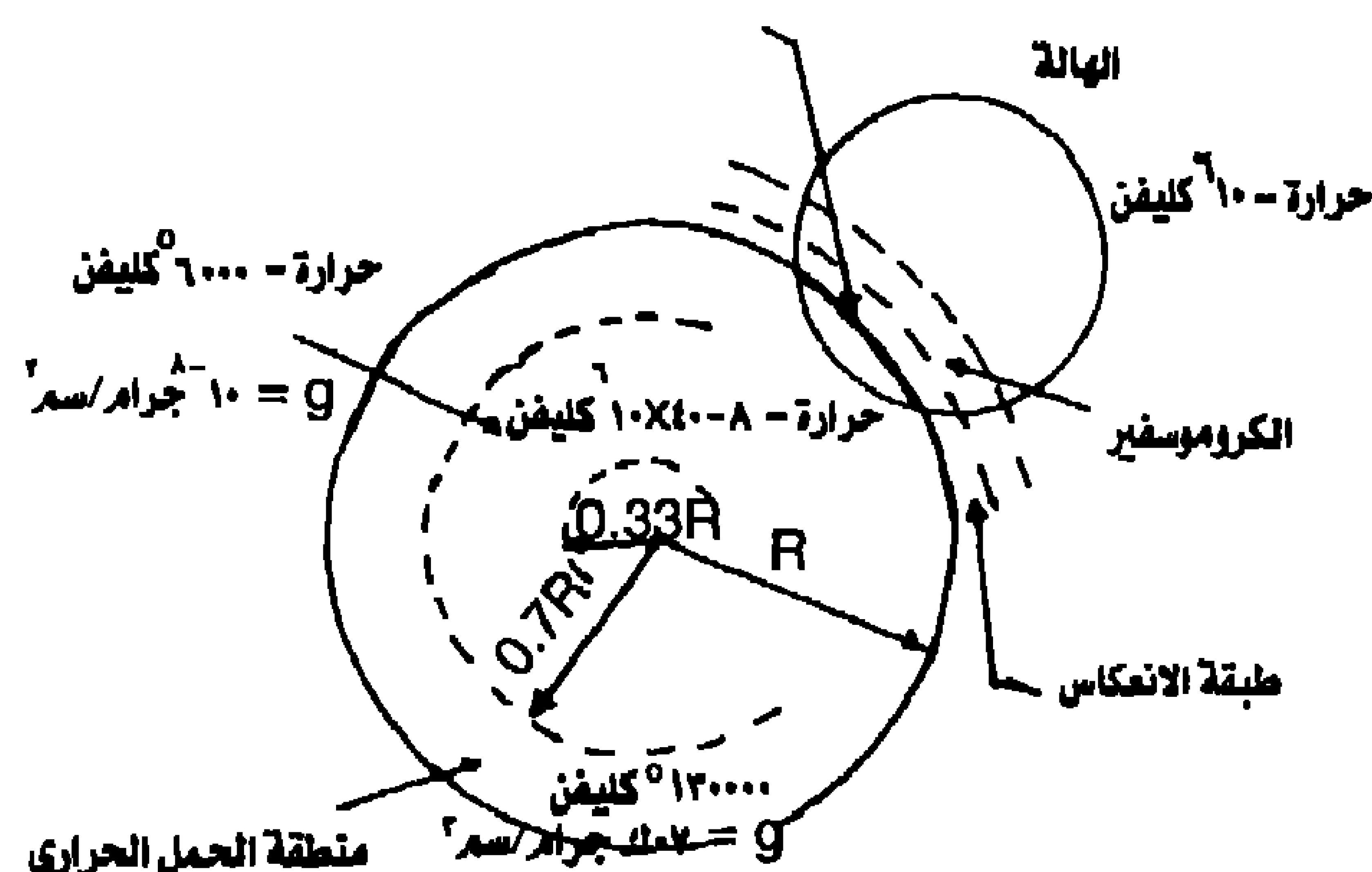
الشمس تدور حول محورها، ولكن ليست كجسم صلب. فترة الدوران تختلف من حوالى 25 يوم أرضى (25 Earth days) عند خط الاستواء إلى حوالى 27 يوم عند خط عرض 40^{o}. بنيه الشمس تنقسم عموماً إلى ثلاث مناطق وهى:

داخل الشمس Solar Interior

الكرة الضوئية Photosphere

مناخ الشمس Solar Atmosphere

داخل الشمس يشمل الكتلة الرئيسية للشمس وبه غازات عند ضغط مليار جوى ودرجة حرارة من 8×10^{6} إلى 40×10^{6} درجة كلفن. الكثافة حوالى 80 إلى 100 ضعف تلك لكثافة الماء. وهى غالباً فى تفاعل اندماج مستمر مع مكوناتها الغازية مثل الوعاء الذى يحتفظ بمحتواه بقوى الجاذبية. معظم طاقتها يتم توليدها بسبب التحول المستمر للهيدروجين (أى أربعة بروتونات) إلى الهيليوم (أى ذرة هليوم واحدة)، كتلة نواة الهليوم أقل عن تلك للأربع بروتونات، الكتلة قد فقدت فى التفاعل وتحولت إلى طاقة. تلك التفاعلات تحدث فى وجود الكربون والنيتروجين. الطاقة يتم إنتاجها فى اللب الداخلى للكرة الشمسية، وهى تنقل إلى السطح ثم تشع فى الفضاء. بنية الشمس موضحة فى الشكل (1/3).



شكل (1/3) البناء الشمسى

أنه بقدر أن حوالى 90% من الطاقة يتم توليدها فى منطقة (0.23R) حيث R هى نصف قطر الشمس والذى يحتوى 40% من كتلة الشمس. الطاقة المنتجة فى منطقة

المفاعل هذه تنقل إلى الخارج بالإشعاع فى شكل إشعاعات X ,Y (جاما) حتى مسافة حوالى (0.7R) من المركز، حيث تنخفض درجة الحرارة إلى حوالى ($130000K^{o}$) والكثافة تنخفض إلى ($0.07\ g/Cm^{3}$). خارج هذه المنطقة يوجد مائع (Fluid) الذى فيه الحرارة أساسا بالحمل الحرارى، ولذلك فإنها تعرف بمنطقة الحمل الحرارى (Convection zone). خلال هذه المنطقة تنخفض الكثافة إلى 10^{-8}جرام/سم3 وتقل درجة الحرارة إلى حوالى 6000^{o} كيلفن.

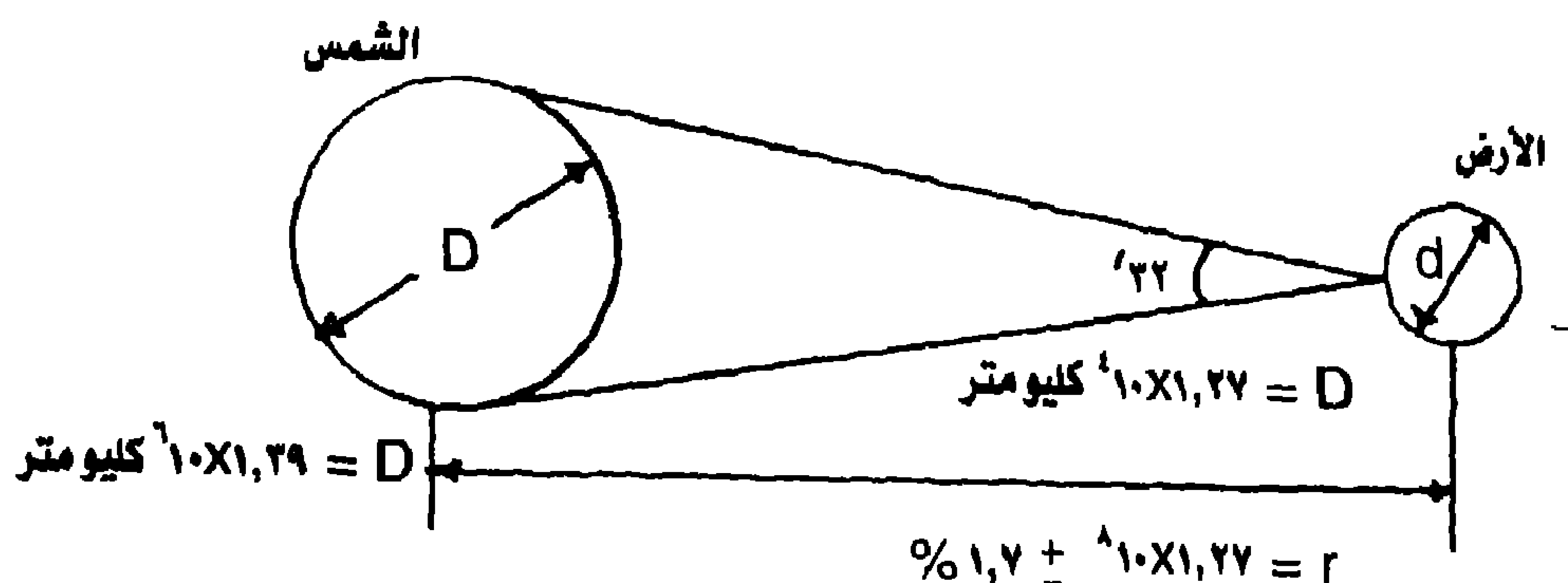
الطبقة العليا لمنطقة الحمل الحرارى تسمى الكرة الضوئية (Photosphere) وهى مصدر الضوء والحرارة لنا. وهى أسا معتمة وغير شفافة، حيث الغازات التى تتكون منها شديدة التأين وقادرة على امتصاص وانبعاث طيف إشعاعى مستمر.

فوق الكرة الضوئية توجد طبقة شفافة من الغاز المخلخل، (مخفف الكثافة والضغط) بسمك 10000 كيلو متر. وهى تعرف بالغلاف اللونى (Chromosphere) بسبب لونها الأحمر الناتج من خط $H\alpha$ القوى للهيدروجين فى طبقة الطيف حيث الطوق المستمر من الكثافة المنخفضة أساساً بسبب تشتت الإشعاع الشمسى. كثافته تنخفض بالتدريج من 10^{-8}جرام/سم3 عند الارتفاع العالى. ويريقها يخفو عند حوالى 6000 - 7000كيلو متر فوق الكرة الضوئية. درجة حرارة الغلاف اللوني هو حوالى 4500 درجة كيلفن عند القاع وحوالى 10^{6} درجة كيلفن عند ارتفاع 12.000 كيلو متر حيث تنتهى وتبدأ الهالة ذات درجة الحرارة المتساوية (Isothermal Corona). الضوء المنبعث من الغلاف اللونى هو ذو طول موجة قصيرة بسبب ارتفاع درجة الحرارة وهو ضعيف جداً بسبب خلخله وضعف كثافة غازاته. وهو يساهم بمعامل 10^{-3} من الطاقة الكلية المنبعثة من الشمس.

أخيراً توجد هالة، طبقة بيضاء براقة التى يمكن ملاحظتها فقط أثناء الخسوف الكلى للشمس. وهى من غازات عالية التأين ذات كثافة منخفضة جداً. درجة حرارتها، يفترض أنها ترتفع بواسطة موجات صدمية، وهى حوالى 10^{6} درجة كليفن كما تأكد بواسطة طيف الحالة الحديثة بواسطة أشعة إكس (X-Ray coronia spectra) بواسطة المختبر الفضائى (Skylab) وهو المختبر الفضائى الذى أطلقه الأمريكيون عام 1973 وعاد إلى جو الأرض عام 1979.

2- ثابت الشمس : (The solar constant)

خصائص الشمس وعلاقتها الفضائية بالأرض نتج عنها كثافة ثابتة إلى حد ما للإشعاع الشمسى خارج جو الأرض. الشكل (2/3) يوضح مخطط العلاقة الهندسية بين الشمس والأرض.



شكل (2/3) مخطط للعلاقة بين الشمس والأرض

المسافة بين الشمس والأرض تتغير بحوالى ±3% والإشعاع الساقط يتغير عكسياً طبقاً لمربع المسافة بين الشمس والأرض، تستقبل الأرض حوالى 7% أو أكثر من الإشعاع عندما تكون أقرب إلى الشمس. الشمس يقابلها زاوية 32.

ثابت الشمس (Isc) يعرف بالطاقة الكلية التى تستقبل من الشمس، فى وجود الزمن، على سطح لوحدة المساحة عمودياً نحو الإشعاع، فى الفضاء، خارج جو الأرض مباشرة عندما تكون الأرض عند مسافة متوسطة من الشمس. مع افتراض أن جو الأرض يصل إلى 75 كيلو متر من سطح الأرض، فإنه من السهل رؤية أن قياسات الثابت الشمسى سوف يتطلب استخدام بالونات ومركبة فضاء، التى يمكنها الذهاب إلى خارج الغلاف الجوى. القياسات الحديثة للثابت الشمسى أظهرت أن له قيمة تقريبية تساوى 1353 وات/المتر المربع أى (ie.1.940 cal/cm^{2}min. or 1165 أو ((1)65Kcal/hrm^2) أو (But/hrft^2) أو (4871KJ/m^{2}hr). تستخدم (Langley) تستخدم أحيانا فى هذه العلاقة واحد لا تجلى يساوى (1cal/cm^2) للإشعاع الشمسى الذى يتم استقباله فى يوم واحد.

الكثافة الشمسية (Solar Flux) أو كثافة الإشعاع الشمسى الذى يترك سطح الشمس يقدر كالآتى:

$Hs = \sigma T_o^4$ (بفرض أن الشمس جسم أسود)

حيث :

هو ثابت (Stefan - Bltzman) σ

$= 5.670 \times 10^{-8}\ W/m^2 - K^4$

$To = 5762^oK$

متوسط درجة الحرارة على السطح = الآن

$Hs = 5.670 \times 10^{-8} (5767)^4$

$= 5.961 \times 107\ W/m^2$

إجمالى طاقة الإشعاع المنبعثة من الشمس يتم الحصول عليها بضرب الكمية التى تم حسابها سابقاً فى المساحة السطحية للشمس. ثم نجد

$P_o = H_s \times 4\pi R^2$

حيث:

نصف قرط سطح الشمس = R

$= 6.960 \times 10^8 m$

$Po = 5.961 \times 10^7 \times 4\pi (6.960 \times 10^8)^2$

$= 3.360 \times 10^{26} W.$

إذا كانت الشمس تبعث الإشعاع بالتساوى فى جميع الاتجاهات، فإن هـذه القـوة الهائلة التى تسمى النورانية أو الإشراقية (Luminosity) بواسطة علماء الفلك، تتبعـث بالتساوى فى كل اتجاهات الفضاء. مع زيادة المسافة من الشمس، فإن هذه القوة تنتشر فوق أسطح كروية ذات مساحة زائدة. وبالتالى، فإن التدفق يتغير بعكس مربع المسافة من مركز الشمس. عند مسافة (r) تكون المساحة السطحية ($4\pi r^2$)، بحيـث أن كثافـة الإشعاع الذى يعبر مثل هذا السطح هى:

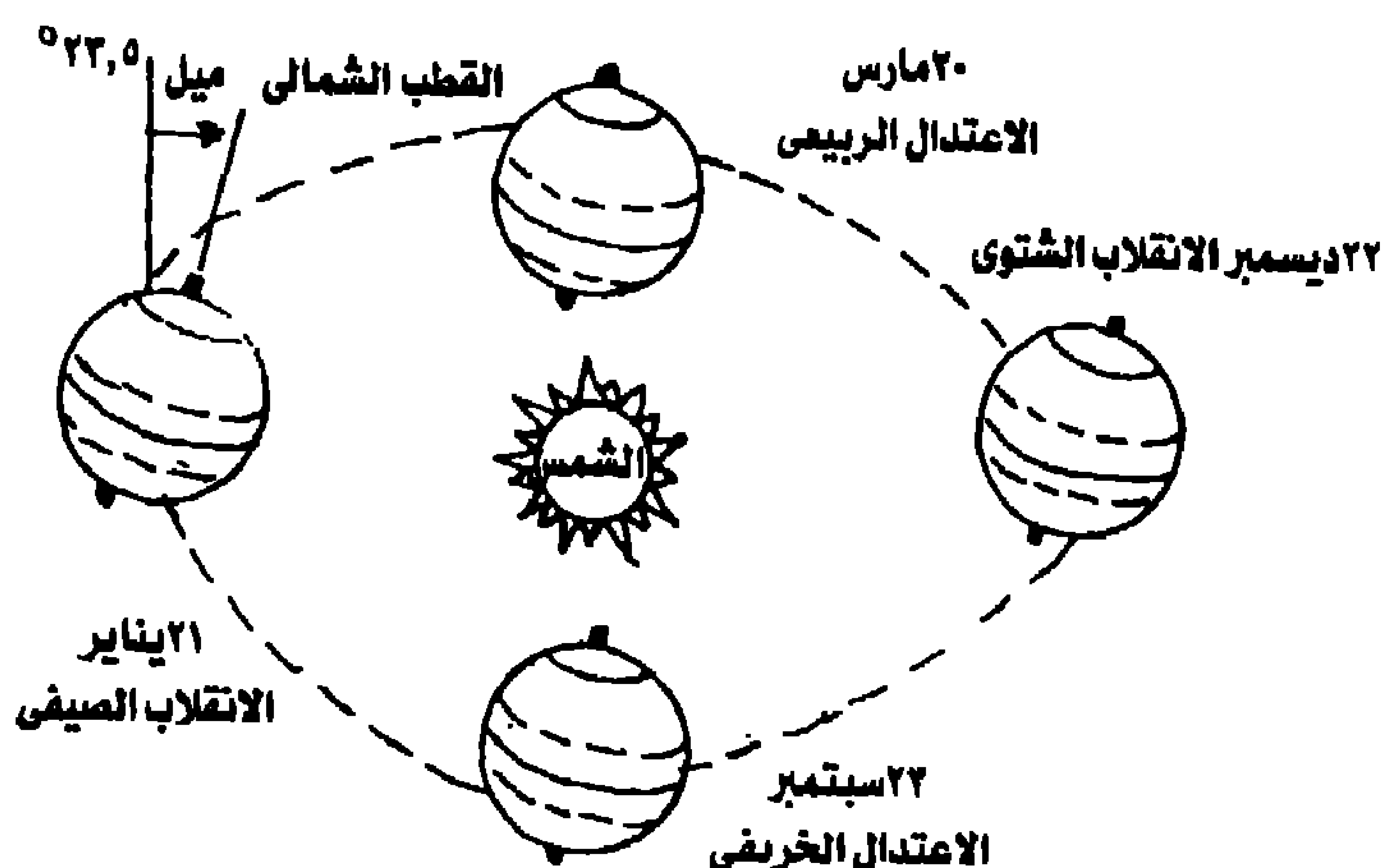
$$Ho = \frac{Po}{4\pi r^2}$$

$$= \frac{Hs x 4\pi R^2}{4\pi r^2} = \frac{R^2}{r^2} x Hs$$

$$= \frac{(6.960 x 10^8)^2}{r^2} x (5.961 x 10^7) W / m^2$$

$$= \frac{3.044 x 10^{25}}{r^2} W / m^2$$

نظراً لأن مسافة الأرض من الشمس (r) تتغير خلال العام شكل (3/3).



شكل (3/3) مخطط لمدار الأرض حول الشمس

فإن إجمالى التدفق الذى يصل الأرض يتغير كذلك. عند متوسط المسافة بين الشمس والأرض حيث $r = 1.5 \times 10^{11}$ متر، فإن كثافة الإشعاع تكون.

$$Ho = \frac{3.044x10^{25}}{(1.50x10^{11})^2} = 1353W/n^2$$

قيمة كثافة الإشعاع تسمى ثابت الشمس، والتى كما سبق ذكره، ليست ثابتة حقيقة، ولكنها تتغير طبقاً للموسم وإلى حد ما طبقاً للنشاط الشمسى. قيمة ثابت الشمس تم قياسة بواسطة العديد من الباحثين للمجال من 1350 إلى 1382وات/المتر المربع. هذا التناقص يصل إلى 2% تقريبا. سوف نختار القيمة 1353 وات/المتر المربع كقيمة للثابت الشمسى مع اعتبار درجة حرارة الطيف تكون = 5760 درجة كيلفن.

الحيود الزاوى يكون :

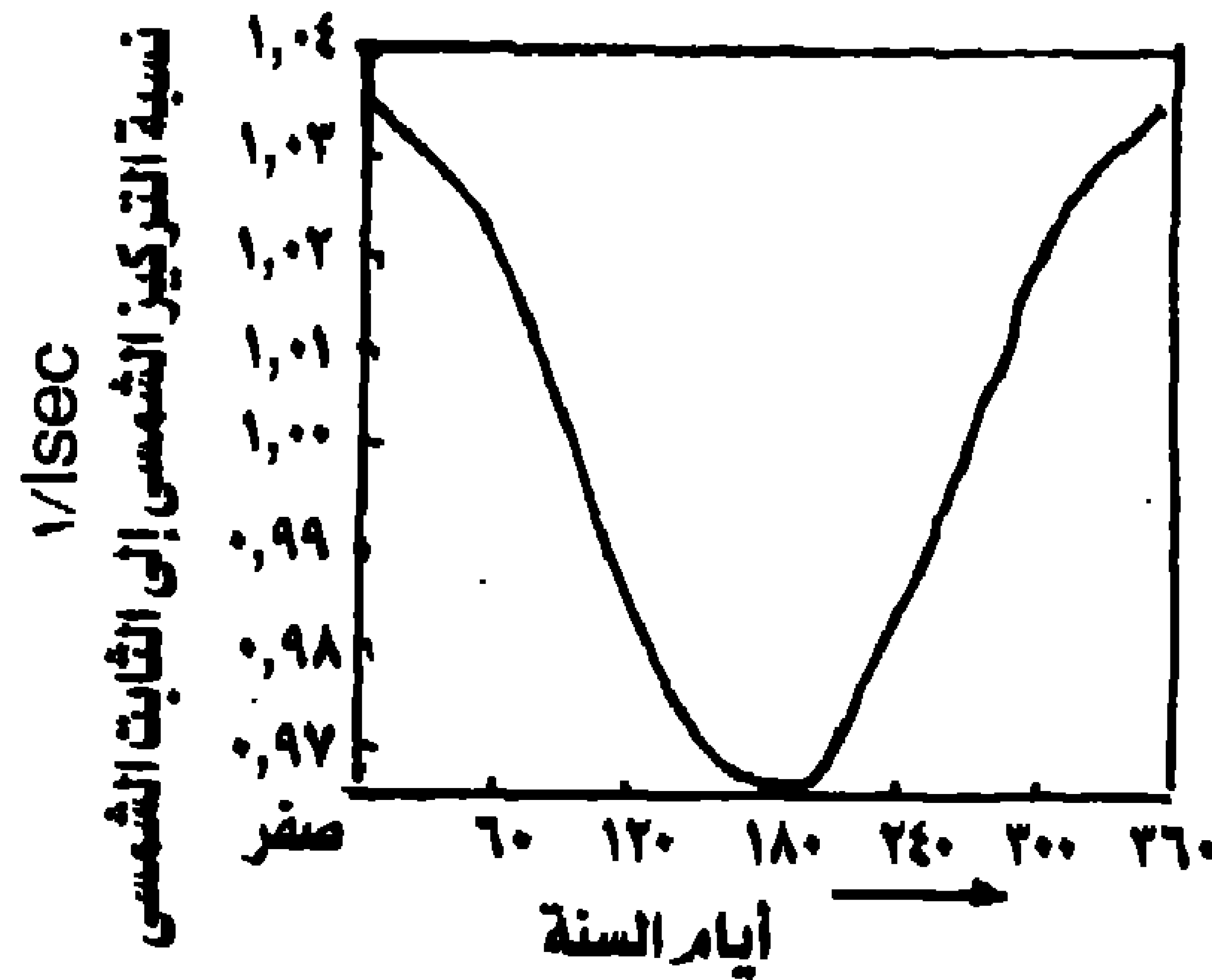
$$\Delta\theta = \frac{2R}{\gamma}\frac{2(6.96x10^8 m)}{1.5x10^{11} m}$$

$= 9.28 \times 10^{-3}$ (rad = 0.53^o = 32')

وهذا يزيد قليلاً عن ($1/2^o$)، بحيث أن التدفق التى ينتج ثابت الشمس يمكن تقريبه كإشعاع ذوى اتجاه واحد.

الأرض تدور حول الشمس مرة كل عام فى مسار بيضاوى (Elliptical Orbit) المدار مستدير تقريباً، المسافة بين الشمس – الأرض تختلف بنسبة 3% من متوسط المسافة 150×10^6 كيلو متر كما ذكر سابقاً. الأرض تكون أقرب ما تكون للشمس فى فصل الصيف وأبعد ما تكون فى فصل الشتاء. هذا الاختلاف فى المسافة ينتج تقريباً

تغير جيبى (Sinu soidal variation) فى كثافة الإشعاع الشمسى (I) التى تصل الأرض، كما هو موضح فى الشكل (4/3).



شكل (4/3) التغير السنوى لنسبة المعدل المتدفق للشمس فوق الأرض إلى ثابت الشمس هذا بسبب اختلاف المسافة بين الشمس والأرض

هذا يمكن تقريبه بالمعادلة

I/I_{se} = I + 0.033 cos 360 (n-2)/365

= I + 0.033 cos 360xn/365

حيث n هى أيام العام.نظراً لأن المسافة بين الشمس والأرض تتغير خلال السنة، بسببها فإن الإشعاع البعيد عن الأرض يتغير كذلك.

كطيف الطاقة الكهرومغناطيسى :The Electromagnetic Energy spectrum

طيف الإشعاع الكهرومغناطيسى ينقسم عادة إلى حزم من أطوال الموجة كما هو موضح فيما بعد (واحد ميكرون = $1\mu = 10^{-6}$ متر).

الاسم	المجال التقريبى
أشعة كونية	$\lambda<10^{-8}\ \mu$
أشعة جاما	$10^{-8} <\lambda\ 10^{-4}\mu$
أشعة إكس	$10^{-5} <\lambda < 10^{-2}\mu$
أشعة فوق البنفسجية	$2 \times 10^{-2} <\lambda < 0.38\mu$
أشعى الضوء المرئى	$0.38\mu < \lambda < 0.78\mu$

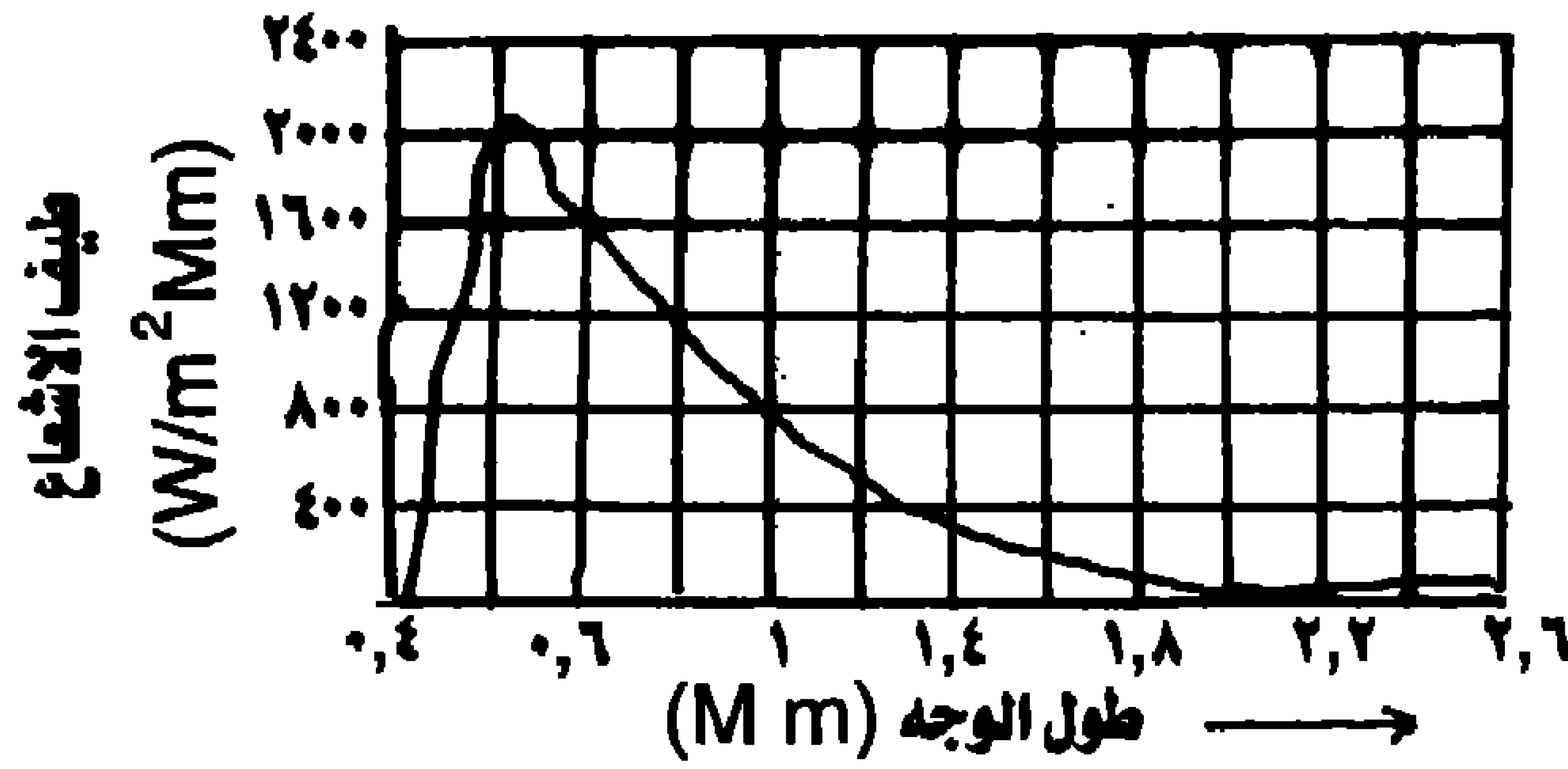
$0.78\ \mu < \lambda < 10^2\mu$	أشعة تحت الحمراء
$10^2\ \mu < \lambda < 10^{10}\mu$	أشعة الراديو

من كل طيف الموجات الكهرومغناطيسية يمكن فقط استشعار فقط تلك ذات طول موجة ما بين 0.1 ميكرون إلى 100 ميكرون تقريباً. الموجات الكهرومغناطيسية الساقطة خلال تلك الحدود تسبب الدفئ لأجسامنا. لذلك فإن تلك الموجات تسمى الإشعاع الحرارى (Thermal Radiation). أشعة الضوء المرئى تشغل حزمة ضيقة جداً من طيف الإشعاع الحرارى.

الإشعاع الشمسى خارج المجال الجوى للأرض (البعيد عن الأرض)

Extra terrestrial Radiation:

الشكل (5/3) يوضح التوزيع الطيفى لكثافة الإشعاع الشمسى عند الحد الخارجى للمجال الجوى (ATMOSPHERE).



شكل (5/3) التوزيع الطبيعى لكثافة الاشعاع الشمسى

الجدول الأتى يوضح الإشعاع الشمسى فى أجزاء مختلفة من الطيف. المساحة أسفل كل المنحنى هى الإشعاع الشمسى.

جدول (2/3) التوزيع الطيفى شدة وقوة الإشعاع الشمسى:

مجال طول الموجة (µ)	**صفر – 0.38**	**0.78 - 0.38**	**4 - 0.87**
الطاقة التقريبية W/m^2	95	640	618
النسبة التقريبية للطاقة الكلية	%7	%47.3	%45.7

نحن نرى أن الجزء المرئى لطيف الطاقة الشمسية يحمل حوالى نصف كل طاقتها إنبعاث الطيف الشمسى (يشار إلى الشكل 6/3) يوضح أن الشمس هى عبارة عن جسم

أسود مشع عند درجة حرارة (5762 كيلفن). القوة تكون عند أقصاها فى الجزء الأخضر من الطيف المرئى الذى عند (0.48μm). لقد أعد (Thekaekara) فى عام 1977 جداول ومخططات لإشعاع الطيف الشمسى البعيد عن سطح الأرض من 0.12 إلى 100 μm، المجال الذى فيه كل طاقة الإشعاع الشمسى تكون مشتملة لكل الأغراض العلمية – الطاقة المشتملة فى المنطقة فوق البنفسجية (λ<0.4μm) وفى المجال المرئى (0.40μm < λ< 0.70μm) هى على التوالى حوالى 8.73%، 38.15% من الطاقة الكلية المنطلقة بالشمس والباقى 51.12% يكون موجوداً فى المنطقة تحت الحمراء (λ>0.70μm). الشكل يوضح التوزيع الطيفى للإشعاع البعيد عن الأرض المتاح عند متوسط المسافة بين الشمس والأرض حيث كتلة الهواء صفر و 1353 وات/المتر المربع الثابت الشمسى. ولكن، نظراً لحقيقة أن الأرض تدور حول الشمس وليس فى مسار دائرى ولكن تتبع ممر بيضاوى مع الشمس كأحد البؤر، فإنه يوجد اختلاف فى الإشعاع البعيد عن الأرض (Extraterrestrial radiation).

الإشعاع الشمسى عند سطح الأرض :

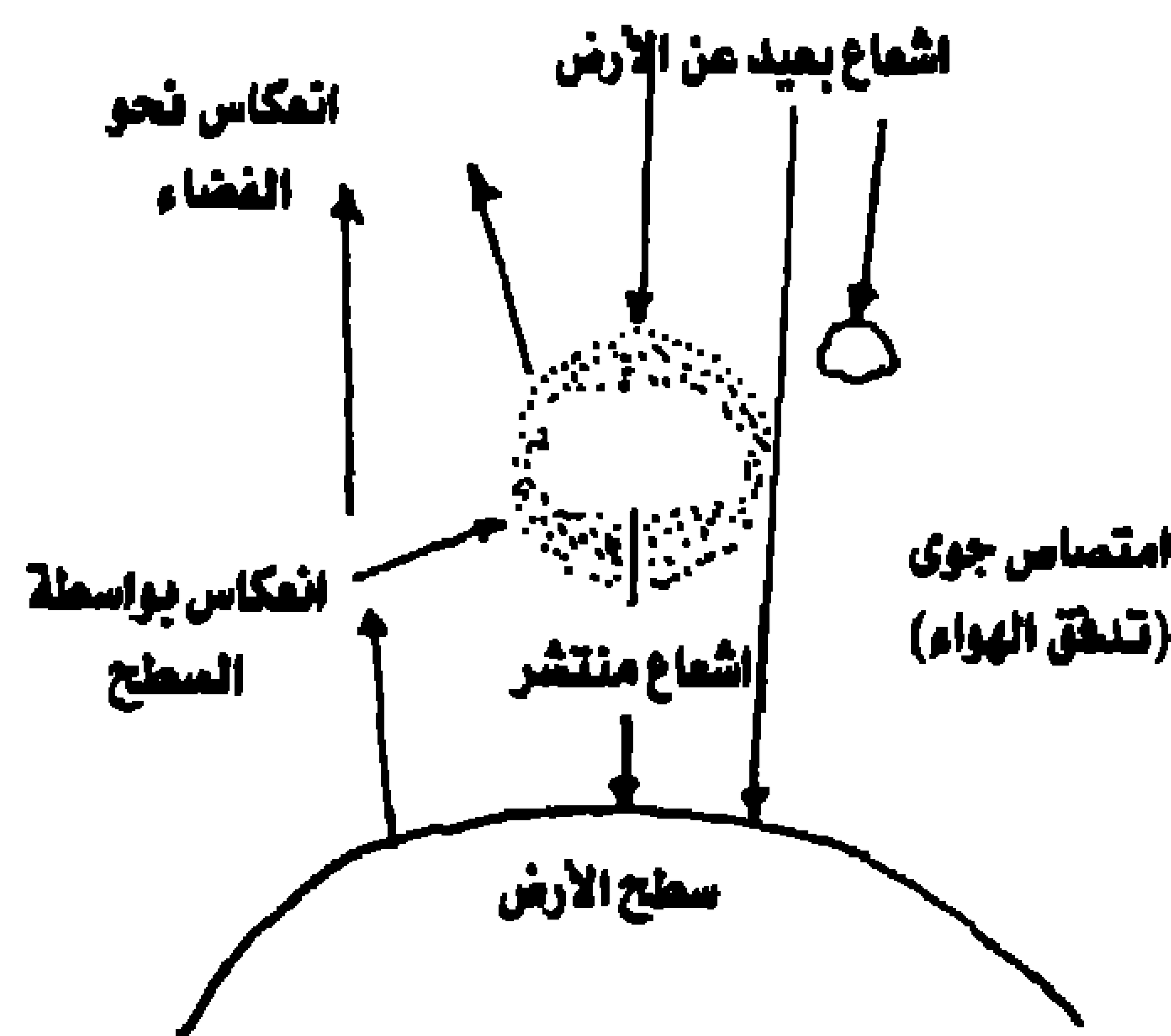
Solar Radiation at the Earth's surface (Terrestrial Radiation)

من وجهة نظر استخدام الطاقة الشمسية فإن اهتمامنا يكون مركزا على الطاقة التى تصل إلى سطح الأرض أكثر من تلك البعيدة عن سطح الأرض. الإشعاع الشمسى الذى يصل إلى سطح الأرض يختلف كلية لأسباب عديدة. قبل دراسة ذلك فإنه ينبغى معرفة المصطلحات الآتية:

الشعاع وانتشار الإشعاع الشمسى (Beam and diffuse solar radiation)

ذلك الجزء من الإشعاع الشمسى الساقط الذى يأتى مباشرة من القرص الشمسى الظاهر، بدون انعكاس من أغراض أخرى، يسمى المباشر أو حزمة من الطاقة الإشعاعية (Beam Radiation). هذه الإشعاعات يتم استقبالها من الشمس بدون التغير فى الاتجاه. الإشعاع المنتشر (Diffuse Radiation) هو الإشعاع الشمسى القادم من الشمس بعد تغير اتجاهه بالانعكاس (Reflection) والتشتت بالجو. يعرف الإشعاع المنتشر بالإشعاع الشمسى المشتت بواسطة حبيبات الغبار والإيروسولات. ولكن له اتجاه محدد. الإشعاع الشمسى الكلى أو الإشعاع الشمسى الكونى هو كل الإشعاع الشمسى الساقط على الأرض والذى يشمل المشتت والمنعكس والمباشر. الإجمالى لا يتضمن الإشعاع الذى تم امتصاصه بواسطة المادة ثم إعادة انبعاثه (Re-emitted)، ذلك لأن معظم هذا الإشعاع يكون عند أطوال موجات أعلا (3μm) الإشعاع الشمسى

المشتت هو إجمالى الإشعاع الشمسى ناقص الإشعاع المباشر أو إشعاع حزمة الطاقة الإشعاعية (Beam Radiation). الإشعاع الشمسى البعيد عن الأرض يكون إشعاع مباشر كلية أو فى شكل إشعاع حزمة الطاقة الشمسية. نظراً لأن هذا الإشعاع يمر خلال جو الأرض (الغلاف الجوى)، فإنه يحدث له تفاعلات معقدة مع المكونات المختلفة للغلاف الجوى. العوامل الرئيسية هى التشتت من الجزئيات وحبيبات الغبار، الامتصاص بواسطة الجو والانكسار. جزء كبير من الإشعاع الذى يصل إلى سطح الأرض ينعكس ويحدث له عدة تفاعلات مشابهة، الباقى يتم امتصاصه بواسطة سطح الأرض.



شكل (6/3) الاشعاع المباشر المنتشر والاجمالى

الإشعاع المشتت الذى يصل المشاهد من مختلف أجزاء القبة السماوية يسمى الإشعاع المشتت كما سبق توضيحه. المشاركون فى تشتت الإشعاع المنبعث من جزء معين من الشمس يكون بفعل الإشعاع المنعكس من الأرض، الإشعاع المشتت من الأجزاء الأخرى من السماء، وكذلك, الإشعاع المباشر الموجود عند ذلك الجزء من السماء.

السحب لها التأثير الأكبر على تغير الإشعاع الشمسى. السحاب ما بين المشاهد والشمس يعيق الإشعاع المباشر، السحب فى أى مكان فى السماء تزيد من تشتت الإشعاع. مختلف أنواع السحب يمكن أن يكون له تأثيرات مختلفة على إجمالى الإشعاع الشمسى طبقاً لموقعها وموقع الشمس. التأثيرات على الإشعاع الشمسى بسبب الإيروسولات، بخار الماء، التلوث الجوى هى قليلة وعادة تعالج لحالات السماء الصافية. تلك التأثيرات تتم معالجتها.

مقدار تشتت الإشعاع المرئى بواسطة المشاهد فى اليوم الصافى ليس متساوى الخواص (Isotropic) ولكنه يتغير بدلالة خط العرض (المسافة من خط الاستواء

Latitude)، الوقت من العام، الوقت خلال اليوم، المحتوى الجوى، عوامل أخرى. العلاقة معقدة حيث نادراً ما يتم تناولها نظريا. الغالب بالنسبة لأغراض التقييم لنظم الطاقة الشمسية يفترض أن الإشعاع المشتت أن يكون متساوى الخواص (Isotropic) على قبة السماء. تبرير آخر يستخدم عادة لعلم هذا الافتراض هو ان الإشعاع المشتت ليس فقط جزء صغير نسبياً (5 إلى 15%) من الكلى عندما لا تكون الشمس معاقة بواسطة السحب، وأن معظم النظم الشمسية لا تعمل عندما تكون الشمس تم حجبها بواسطة السحب. لذلك فإن التغيرات فى توزيع الإشعاع المشتت ليس له أهمية كبيرة نحو معظم المستخدمين.

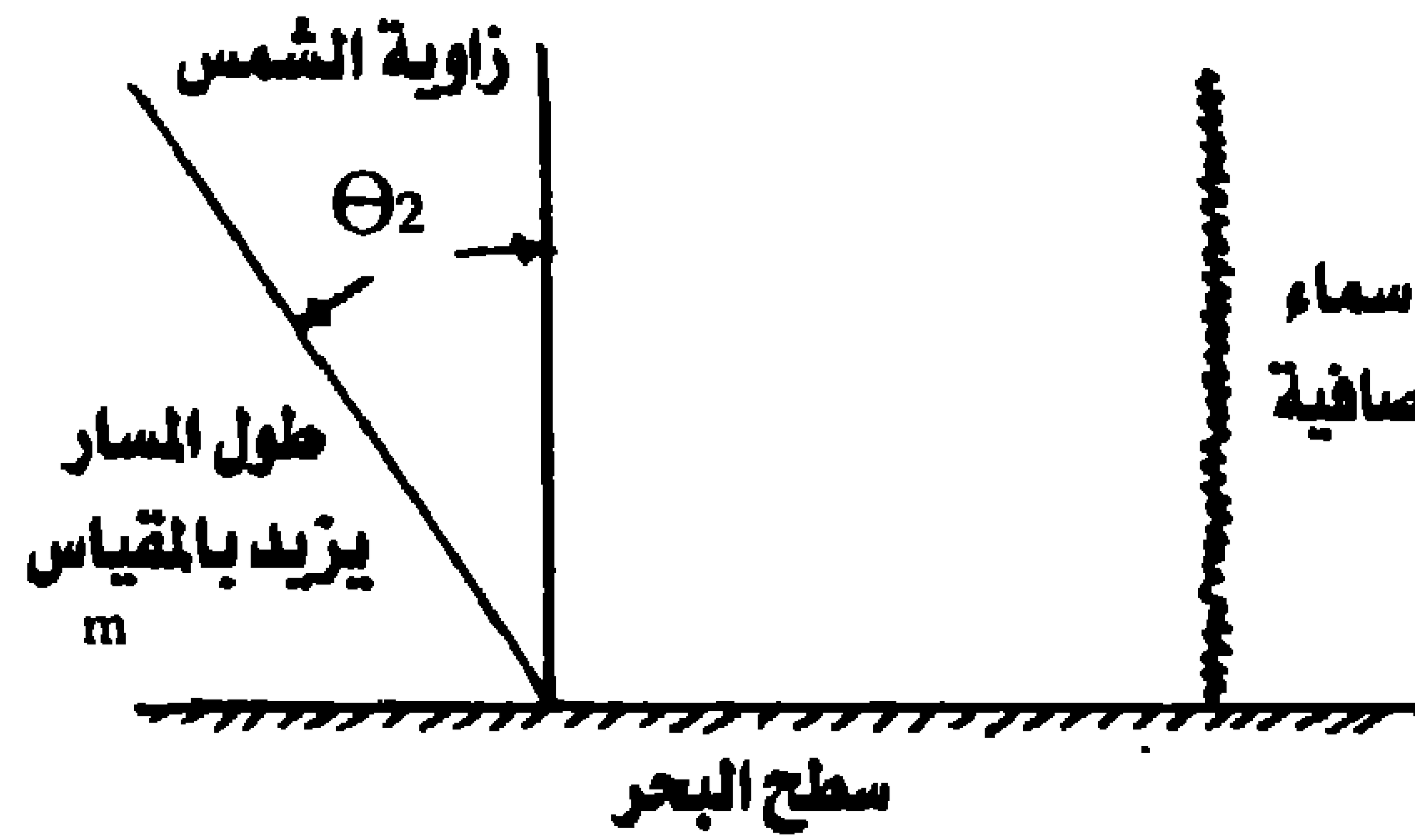
الشمس عند السمت (الزروة) وضع الشمس فوق الرأس مباشرة:

Position of the Sun Directly Over Head (Sun at Zenith)

الكتلة الهوائية ((Airmass (m). هى طول ممر الإشعاع خلال الجو مع اعتبار الممر الراسى عند مستوى سطح البحر (كواحد).

المسافة المقطوعة بالشعاع المباشر خلال الجو تتوقف على زاوية السقوط نحو الغلاف الجوى (زاوية السمت) والارتفاع فوق مستوى سطح البحر للملاحظ. الشكل (7/3) مع اعتبار سماء صافية ولا توجد سحب أو غبار أو تلوث. نظراً لأن السطح العلوى للغلاف الجوى لا يتم تعريفة بأكثر من المسافة المقطوعة وهى كتلة الغازات الجوية والأبخرة التى يتم مقابلتها. بالنسبة للحزمة الإشعاعية المباشرة عند السقوط العادى بالمرور خلال الغلاف الجوى عند الضغط العادى، سيتم مقابلة كتلة قياسية من الغلال الجوى إذا كانت الحزمة الضوئية عند زاوية السمت (θ_z)، زيادة طول المسار مقارنة بالمسار العادى يسمى نسبة الكتلة الهوائية (Air mass Ratio (or Air Mass)، الرمز (m) المصطلح (AM) يستخدم نسبة كتلة الهواء. (AMO) يشير إلى غلاف جوى صفر، اى أن الإشعاع فى الفضاء الخارجى (Outer space). (AM1) تشير إلى M=1 أى الشمس فوق الرأس، AM2 تشير إلى m=2 وهكذا. من الشكل، حيث أنه عادة لا يتم أخذ انحناء الأرض فى الحساب

$$m = \sec \theta z$$



شكل (7/3) نسبة كتلة الهواء

نسبة كتلة الهواء المختلفة التى تقابل بسبب التغير فى الضغط الجوى أو التغير فى ارتفاع المراقب يتم مراعاتها منفصلاً.

لذلك، فإن كتلة الهواء (m) هى نسبة مسار أشعة الشمس خلال المجال الجوى إلى طول المسار عندما تكون الشمس عند السمت. باستثناء زوايا خط العرض الشمسية المنخفضة جداً، فإن كتلة الهواء تساوى الناتج عند زاوية خط العرض (Altitude).

لذلك عند منسوب سطح البحر I =m

M=1 عندما تكون الشمس عند السمت، فوق الرأس مباشرة.

M=2 عندما تكون زاوية السمت60^{o} (θz، الزاوية المقابلة بالسمت وخط البصر نحو الشمس).

Sec θz =m عندما تكون m > 3

=m صفر فوق الغلاف الجوى للأرض مباشرة.

توهين وتخفيف حزمة من الطاقة الإشعاعية :

(Attenuation of Beam Radiation)

الاختلاف فى الإشعاع الشمسى الذى يصل إلى الأرض عن الذى يصل إلى ما بعد الغلاف الجوى بعيداً عن سطح الأرض يكون بسبب الامتصاص والتشتت فى الغلاف الجوى.

(1) الامتصاص : عند مرور الإشعاع الشمسى خلال جو الأرض فإن الأشعة فوق البنفسجية ذات طول الموجة القصيرة يتم امتصاصها بواسطة الأوزون فى الغلاف الجوى والأشعة تحت الحمراء طويلة الموجة يتم امتصاصها بواسطة ثانى أكسيد الكربون. والرطوبة فى الجو. ثم ينتج عنه تضييق عرض الحزمة من الأطوال الموجية (Band width). فى الحقيقة معظم الطاقة الشمسية الأرضية (أى الطاقة التى تصل إلى

الأرض) تقع خلال المجال من 0.29 ميكرون إلـــى 2.5 ميكـــرون (0.29µ to 2.5µ).

(2) التشتت : (Scattering): عند مرور الإشعاع الشمـــسى خـــلال الغـــلاف الجوى للأرض، فإن مكونات الغلاف الجوى مثل بخار الماء والأتربة، تشتت جزء من الإشعاع. جزء من ذلك الإشعاع المشتت يصل دائماً إلى سطح الأرض فى شكل إشعاع منتشر (Diffuse) لذلك الإشعاع النهائى الذى يصل سطح الأرض يتكون من الحزمـــة الضوئية الإشعاعية (Beam Radiation) ومن الإشعاع المنتشر.

، يجب التحقق من أن التشتت يخفف من الإشعاع. المقدار الصحيح للتشتت وبالتالى التوهين والتخفيف يتوقف على الظروف الجوية والتى تختلف من مكان إلى آخر وعند مكان معين يتوقف على الوقت من اليوم، والشهر من السنة والمناخ المحلى.

الانتقال أحادى اللون أى أحادى طول الموجة (Monochromatic) للحزم الضوئية الإشعاعية يمكن كتابته كالآتى :

$$(1)\ \tau\lambda = T\lambda(s) \times T\lambda\ (abs)$$

حيث :

$T\lambda(s)$ = الانتقال الجوى أحادى اللون باعتبار التشتت فقط (عند طول موجة λ).

$T\lambda(abs)$ = الانتقال الجوى أحادى اللون باعتبار التشتت والامتصاص (عند طول موجة λ)

التأثير الكلى للتشتت لحزمة الإشعاع الشمسى يمكن كتابته تقريباً كالآتى:

$$(2)\ \tau\lambda_{(s)} = [(Ta\lambda)^{p/760}\ (Td\lambda)^{d/800}\ (Tw\lambda)^{w/20}]^{m}$$

حيث :

$Ta\lambda$ = الانتقال أحادى طول الموجة (اللون) بسبب جزئيات الهواء

= $10^{-0.00389\lambda^{-4}}$، حيث λ تكون بالميكرون

m= 1 ، P = 760 مليمتر

$Td\lambda$ = الانتقال أحادى طول الموجة (اللون) بسبب الغبار

= $10^{-0.03530^{-0.75}}$ حيث λ بالميكرون.

m = 1 متوسط حبيبات الغبار 800/سم3 عند الأرض.

$Tw\lambda$ = الانتقال أحادى اللون (طول الموجة) بسبب بخار الماء

= $10^{-0.0075\lambda^{-2}}$

(تشتت بخار الماء لسمت الشمس و 20 مليمتر ماء قابل للترسيب)

P = الضغط الكلى، مليمتر زئبق.

d = تركيز حبيبات الغبار، عند الأرض حبيبات على سم3

W = عمق الماء القابل للترسيب، مليمتر،(كمية بخار الماء فى عامود الهواء فوق المراقب)

m= كتلة الهواء

التأثير الكلى للامتصاص على حزمة الإشعاع الشمسى يمكن كتابته تقريباً كالآتى:

$$T\lambda(abs) = To\lambda \times Tw\lambda$$

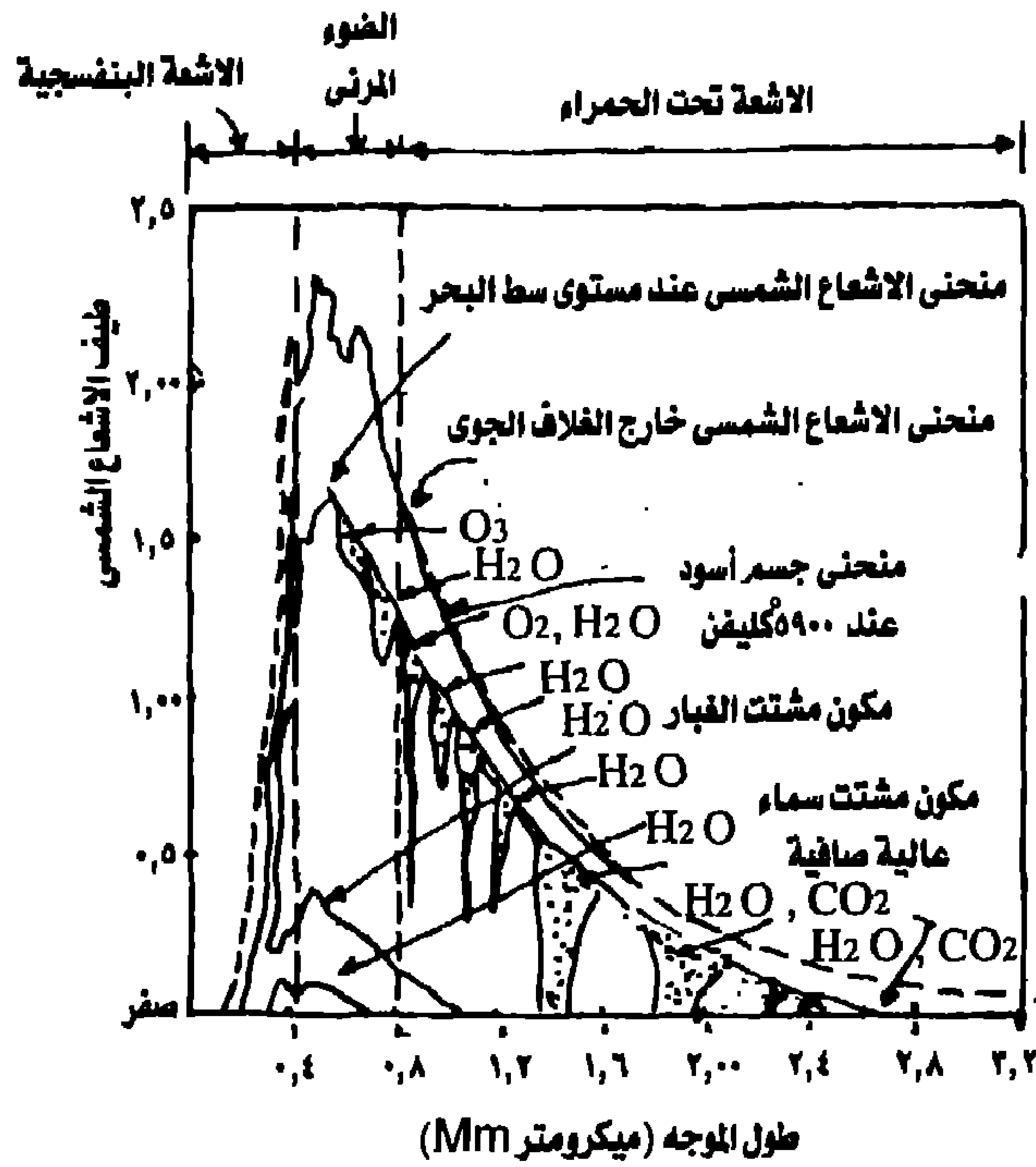
حيث:

Toλ = الانتقال أحادى اللون (طول الموجة) بسبب الامتصاص بالأوزون

Twλ = الانتقال أحادى اللون بسبب الامتصاص بالماء

الأوزون يمتص أساسا الحزمة الإشعاعية فوق البنفسجية. فهو يمتص غالباً الإشعاع قصير الموجة بالكامل والذى دون (0.28μm)، وإنفاذه غالباً يكون وحدة (Unity) بعد الموجات ذات (0.35μm). بخار الماء يمتص أساساً فى الحزمة تحت الحمراء. عند أطوال موجة أطول من (2.3μm)، يكون الإشعاع الشمسى البعيد عن الأرض بواسطة CO_2, H_2O فى الغلاف الجوى قوى. لذلك فإنه للتطبيقات الأرضية للطاقة الشمسية، فإنه يلزم فقط اعتبار أطوال الموجة مابين 0.29 ، 2.5μm.

الشكل (8/3) يوضح منحنيات التوزيع الطيفى. فى الظروف المناخية الجيدة، أقصى تركيز ملاحظ عند الظهر على سطح لامع عند مستوى سطح البحر هو واحد كيلوات/المتر المربع (1Kw/m2). عند ارتفاع 1000متر، ترتفع القيمة إلى (1.05 kw/m2)، وفى الجبال العالية يتم الحصول على قيم أعلا من (1.1Kw/m2)، مقارنة بقيمة (1.353Kw/m2) (ثابت الشمس) (Solar constant) فى الفضاء. القيمة الأخيرة تسمى أحيانا كتلة الهواء (Air mass) (AMO)، حيث عند مستوى سطح البحر، تكون أقصى قوة تركيز ممكن يسمى (AMI) المنحنى العلوى ينطبق على الحد الخارجى للغلاف الجوى (AMO). المنحنى السفلى الآخر ينطبق على سطح الأرض أثناء الأيام الصافية لمكان مستوى سطح البحر، لـ (AMI). المنحنى المهشر فى الشكل يوضح المنحنى للجسم الأسود عند (5900^oK).



الشكل (8/3) الطيف الشمسى خارج الغلاف الجوى وعند سطح الأرض (الطيف المرئى 0,38 -0,78 ميكرومتر)

المنحنيين السفليين هما لمكونات التشتت لبعض حالات السماء الملبدة بالغيوم والسماء الصافية. اعتبار منحنى الإشعاع الشمسى لحالة المنحنى السفلى والعلوى، فإن معامل الانتقال الجوى يعطى كمساحة أسفل المنحنى السفلى مقسومة على المساحة أسفل المنحنى العلوى (الثابت الشمسى Solar constant).

بالنسبة (1.o =m) يكون معامل الانتقال (0.633)، بالنسبة (5.0=m) عند سطح الأرض لمنسوب سطح البحر، يكون معامل الانتقال هو (0.276). لقيم مختلفة لـ (m) يمكن تعيين معامل الانتقال. لذلك، فإن طول الإشعاعات الشمسية (Sun Ray's) خلال المجال الجوى يكون ذو أهمية كبيرة فى تأثير خفض الكثافة والحدة الشمسية.

مثال:

بالنسبة للظروف المناخية الموضحة بعد، عين الانفاذ الكلى الجوى للتشتت فقط، عندما تكون الشمس عن السمت.

طول الموجة λ = 0.5μm

الضغط الكلى p = 750mm زئبق

تركيز حبيبات الغبار عند الحبيبات الأرضية = 800/cm3

عمق الماء المدرك = 20mm

افتراض الانفاذ الجوى أحادى اللون (طول الموجة) باعتبار الامتصاص فقط ($T\lambda abs = 0.6$).

الحل :

مع اعتبار التشتت فقط، فإن الانفاذ الجوى أحادى اللون عند طول موجة (λ) يكون كالآتى:

$$(1)\ T_{\lambda(s)} = [(T_{a\lambda})^{p/750} (T_{d\lambda})^{d/800}(T_{w\lambda})^{w/20}]^m$$

$$T_{a\lambda} = 10^{-0.00389\lambda-4}$$
$$= 10^{-0.00389(0.5)-4}$$
$$= 10^{-0.0623}$$
$$T_{d\lambda} = 10^{-0.0353\lambda-0.75}$$
$$= 10^{-0.0353(0.5)0.75}$$
$$= 10^{-0.105}$$
$$T_{w\lambda} = 10^{-0.00753\lambda-2}$$
$$= 10^{-0.75(0.5)2}$$
$$= 10^{-0.03}$$

استبدال القيم فى المعادلة رقم (1)

$$T_{(0.5)s} = [10^{(-0622750/760} \ 10^{-(0.105)800/800} \ 10^{(-0.03)20/00}]$$

[هنا m=1، الشمس عند السمت]

$$= [10^{-0.06220^{0.986}} \ 10^{-0.05} \ 10^{-0.03}]$$
$$= 10^{-0.1982}$$
$$= 0.633$$

الآن الإنفاذ الكلى هو

$$T_\lambda = T_{\lambda(s)x}\, T_{\lambda ab}$$
$$= 0.633 \times 0.6 = 0.3798.$$

المصطلحات والزوايا الأساسية للأرض والشمس :

(SPME Terms and Basic Earth Sun Angles)

لتفهم ما يتبع لحساب الطاقة الشمسية، يتم التعرف على بعض المصطلحات الأساسية:

الكرة السماوية (Celestial sphere) :

السماء فى الليل الصافى، تبدو وحيث النجوم، الكواكب، القمر..الخ كما لو كانت كلها موجودة على نفس المسافة بعيداً عن المراقب. يمكن افتراض السماء أنها كرة ضخمة هذه الكرة المتصورة تسمى الكرة السماوية.

السمت (Zenith) :

السمت هى النقطة على الكرة السماوية التى تقع مباشرة فوق رأس المراقب. السمت يتغير بالنسبة للمكان.

نظير السمت الحقيقى : (Nadir)

النقطة للكرة السماوية المعاكسة قطرياً للسمت. نظير السمت يتغير كذلك بالنسبة للمكان. نظير السمت ليس مثل السمت حيث أنه لا يرى.

الأفق المرئى (Visible Horizon)

يبدو للناظر أن الكرة السماوية تقابل الأرض، مكان هذا التقابل الظاهرى يسمى الأفق المرئى.

الأفق الفلكى (Astronomical Horizon)

نظراً لأن الأفق المرئى غير متساوى، لذلك فإنه لا يمكن تعريف مكان فى السماء بالنسبة له. لذلك يكون من الضرورى تعريف الأفق،نفس المسافة البعيدة عن السمت (الخط الواصل بين السمت ومركز الأرض ببساطة خط عمودى). فهى دائرة غير مستوية يمكن أن تكون أما أسفل أو فوق الأفق. هذا موضح فى الأفق الفلكى ويكن الحصول عليه بالإدارة فى كل الاتجاهات من السمت، مسافة زاوية مقدارها 90^{o}.

أقطاب الأرض: (Poles of the Earth)

نهايات محور دوران الأرض علامة لنقطتين هامتين على سطح الأرض.وهما يسميا أقطاب الأرض، واحد كالشمال والآخر كالجنوب.

خط الاستواء الأرضى (Earth's Eqautor)

خط الاستواء الأرضى عبارة عن دائرة تصوريه كبيرة عمودية على محور الأرض، مقسمة المسافة بين أقطاب الأرض على طول سطحها إلى جزئين متساويين.

خط الاستواء يقسم الأرض إلى نصفى كرة تسمى نصف الكرة الشمالى ونصف الكرة الجنوبى.

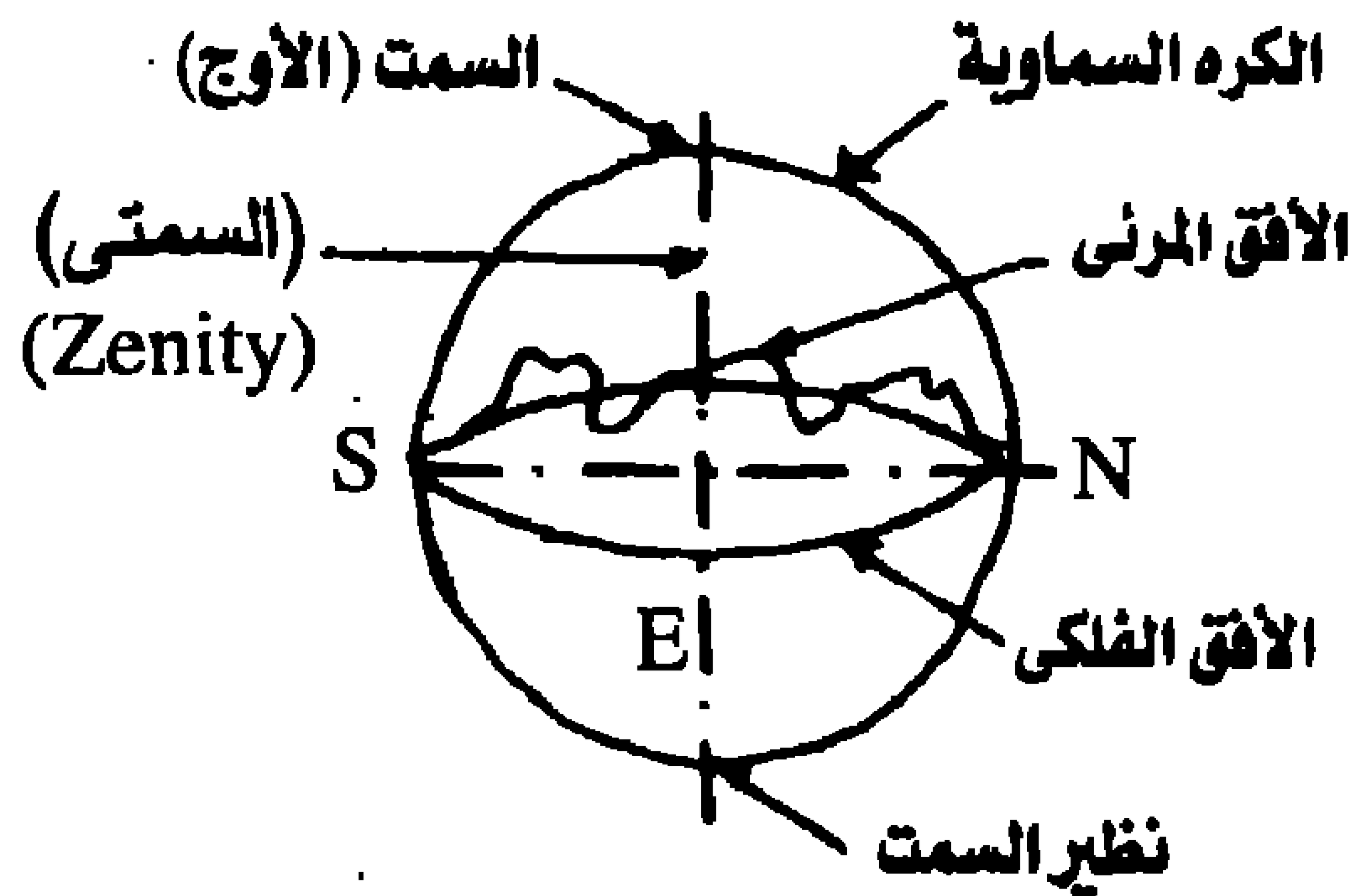
خط الزوال، دائرة خط الطول : (Meridian)

من الضرورى اختيار مكان إرشادى على الأرض للمساعدة فى تعيين موقع معين. مكان (Royal Observatory Green wich) خارج لندن تـم قبولـه عالمـاً كنقطـة إرشادية. دائرة ضخمة متصورة ماره خلال هذه النقطة وكلا القطبين، مقاطعـاً خـط الاستواء بزوايا قائمة، يسمى الزوال أو دائرة خط الطول الأولـى (or greenwich). دوائر مشابهة كبيرة تم رسمها على فترات تساوى كل فترة 15 درجة خلال القطبين.

خط الطول، قوس الطول: (Longitude)

خط الطول هو المسافة الزاوية (Angular Distance) للمكان، مقاسه إلى الـشرق أو إلى الغرب من خط الزوال الأول (دائرة خط الطول).

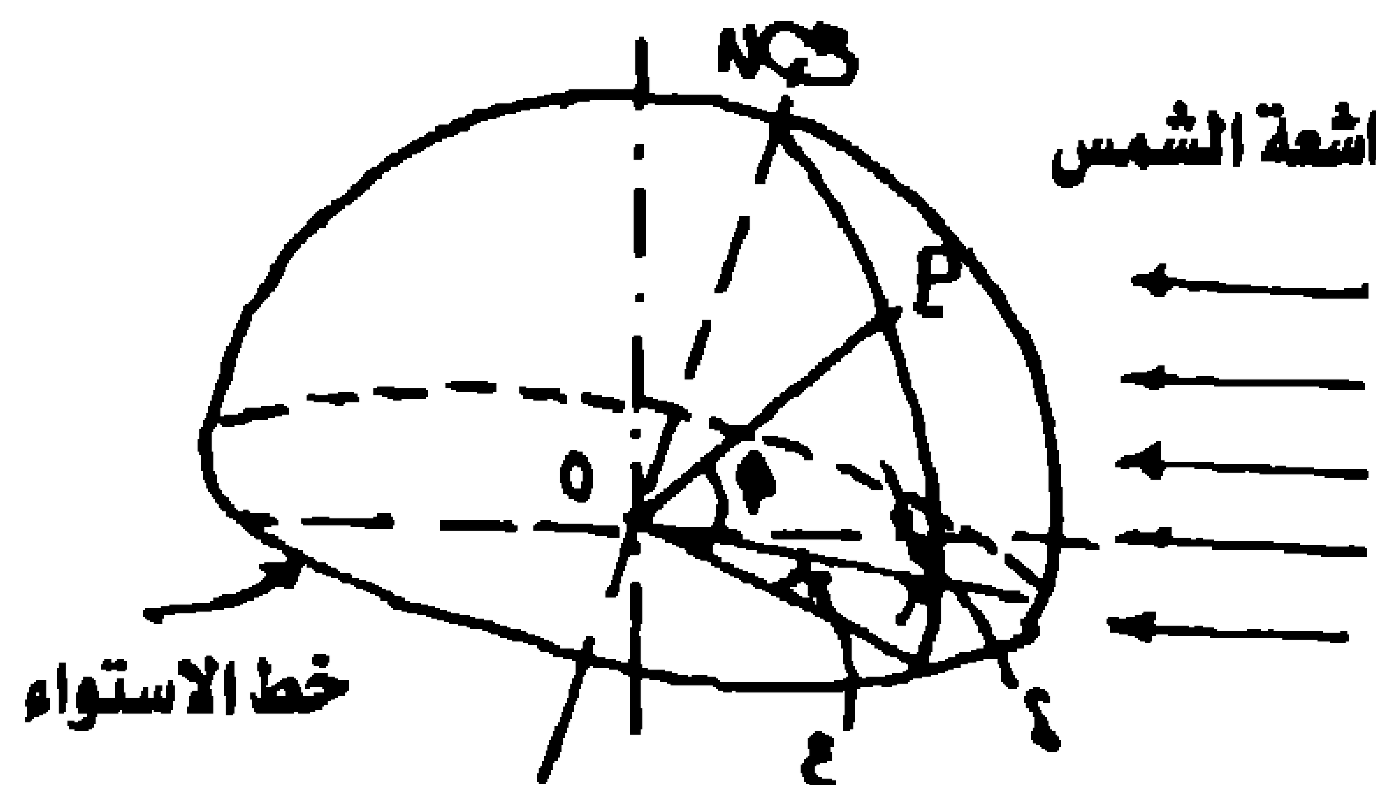
كمثال خط الطول لـ (Bhopal) هو (77°30'E).



شكل (9/3)

أساسيات زوايا الأرض الشمس: (Basic Earth sun angles)

موقع النقطة (P) على سطح الأرض بالنسبة لأشعة الشمس يكون معلوما عنـد أى لحظة إذا كان خط العرض (Latitude) (φ) وزاوية التوقيف (ω) للنقطة، وميل الشمس (δ) معلوماً. هذه الزوايا الأساسية موضحة فى الشمل (10/3). النقطة (P) تمثل موقع نصف الكرة الشمالى.

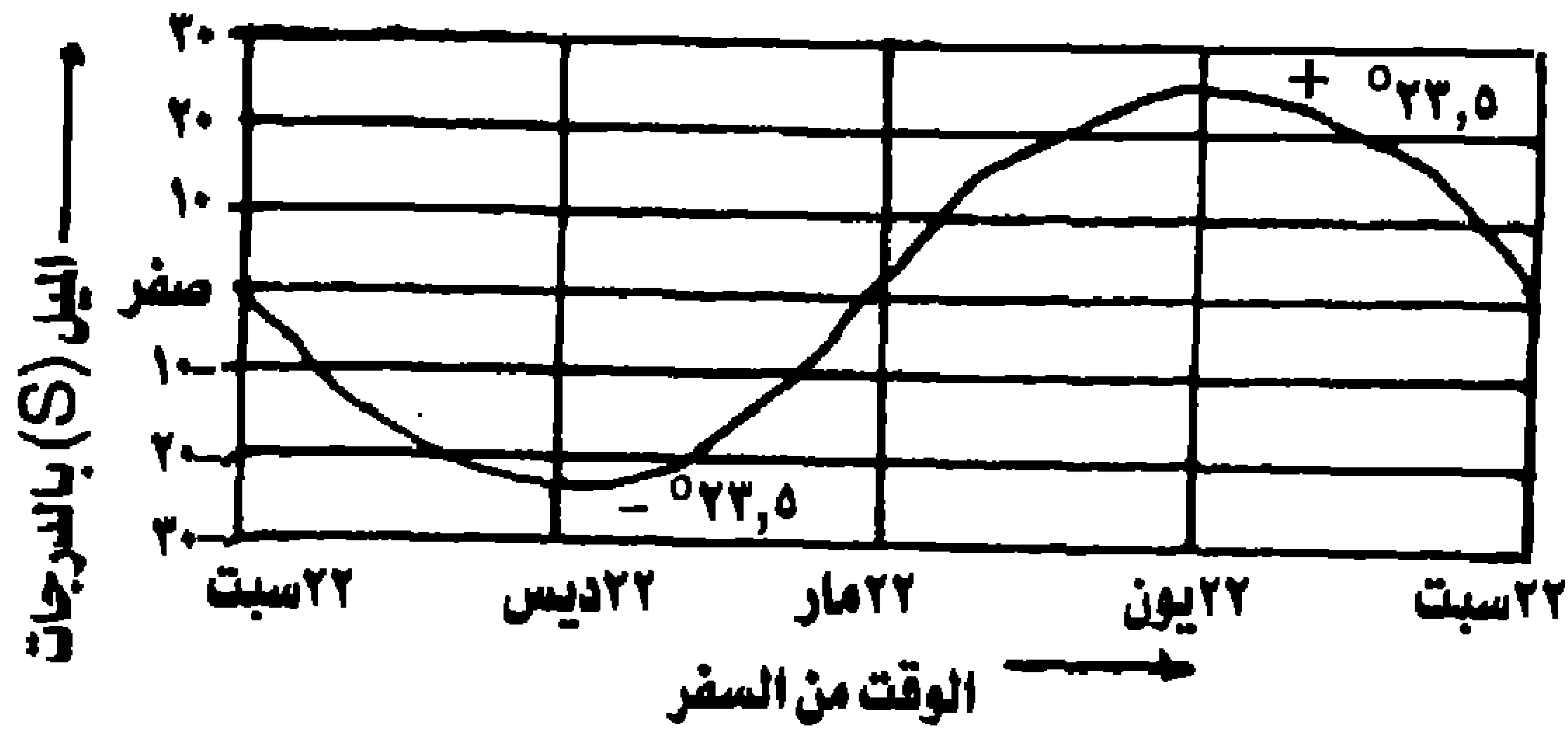


شكل (10/3) خط العرض ، زاوية الساعة ، ميل الشمس

خط العرض (φ) لنقطة على سطح الأرض هو مسافته الزاوية شمال أو جنوب خط الاستواء مقاساً من مركز الأرض. وهو المسافة بين الخط OP وإسقاط OP على مستوى خط الاستواء (Equatorial Plane). النقطة (O) تمثل مركز الأرض.

زاوية التوقيف (ω) (Hour angle) هى الزاوية التى خلالها يجب أن تدور الأرض لوصول دائرة خط الطول (Meridian) للنقطة مباشرة فى الخط بالنسبة لأشعة الشمس. وهى الزاوية المقاسه فى مستوى خط الاستواء الأرضى، ما بين إسقاط $\overline{OP}$ وإسقاط خط من مركز الشمس إلى مركز الأرض. عند الزوال الشمس (ظهر الشمس – SolarNoon) زاوية التوقيف تكون صفر وهى تعبر عن الوقت فى اليوم بالنسبة لزوال الشمس. وهو يقاس بالموجب نحو الغرب من المراقب ويعبر عنها بالساعات، الدقائق، الثوانى، الدرجات، الدقائق، إشعاعات (Radiants).

الساعة تكافئ $2\pi/24 = 0.262$ rad أو $360°/24 = 15°$ وبالتالى دقيقة واحدة = 15‵، 4 دقيقة = 1°. ميل الشمس (δ) هو المسافة الزاوية لأشعة الشمس شمال أو جنوب خط الاستواء. وهى الزاوية بين الخط الممتد من مركز الشمس إلى مركز الأرض، وإسقاط هذا الخط على مستوى خط الاستواء الأرضى.



شكل (11/3) تغير ميل الشمس

هذا هو النتيجة المباشرة للميل وسوف يتغير ما بين 23.5° فى يونيو 22 إلى – 23.5° فى ديسمبر 22. عند وقت منقلب الشمس الشتوى (Solstice)، فإن أشعة الشمس ستكون 23.5° جنوب خط الاستواء الأرضى (δ = -23.5°). عند وقت منقلب الشمس (Solstice) فإن أشعة الشمس ستكون 23.5° شمال خط الاستواء الأرضى (δ = 23.5°) عند وقت الاعتدال الربيعى أو الخريفى (Equinox) [الاعتدال الربيعى فى 21 آزار والخريفى فى 22 أيلول] (حيث يتساوى الليل)، فإن ميل الشمس سيكون صفر. الشكل (11/3) يوضح تقريباً التغير فى ميل الشمس خلال العام. حقيقة، الميل يتغير

قليلاً من عام إلى عام القيمة لسنة متوسطه ما بين سنتين كبيستين متتاليتين يمكن استخدامه.

الجدول (1/3) التالى يعطى قيم الميل لمختلف الأيام فى العام على فترات سبعة أيام لكل شهر من العام، ويمكن امتداده طولياً هذه القيم يمكن استخدامها لأى عام. بالنسبة لأى يوم، يمكن افتراض الميل الثابت.

الميل بالدرجات، لأى يوم يمكن حسابه من المعادلة التقريبية لكوبر (Copper -1969).

$$8 = 23.45 \sin[360x \frac{284+n}{365}]$$

حيث n هى اليوم فى العام [مثل يونيو 21، هو اليوم 173]

(21 + 29 + 31 + 30 + 31 + 21) يوم فى عام 1980 أى N = 173

جدول (1) ميل الشمس :

اليوم	1		8		16		22	
الشهر	الميل	معادلة الوقت	الميل	معادلة الوقت	الميل	معادلة الوقت	الميل	معادلة الوقت
	درجة:دقيقة	دقيقة:ثانية	درجة:دقيقة	دقيقة:ثانية	درجة:دقيقة	دقيقة:ثانية	درجة:دقيقة	دقيقة:ثانية
يناير	-(23:08)	- (3:16)	-(22:20)	-(6:26)	-(21:15)	- (9:12)	-(19:50)	-(11:27)
فبراير	-(17:18)	-(13:34)	-(15:13)	-(14:14)	-(12:55)	-(14:15)	-(10:27)	-(13:41)
مارس	-(7:51)	-(12:36)	-(5:10)	-(11:0)	-(2:25)	-(9:14)	0:21	-(7:12)
إبريل	4:16	-(4:11)	5:56	-(12:07)	9:30	-(0:15)	11:57	1:19
مايو	14:15	2:50	16:53	3:31	18:14	3:44	20:14	3:30
يونيو	21:57	2:25	22:47	1:15	23:17	-(0:09)	23:27	-(1:40)
أغسطس	18:12	-(6:17)	16:21	-(5:40)	14:77	-(4:35)	12:02	-(3:04)
سبتمبر	8:33	-(0:15)	5:58	2:03	3:19	4:29	0:36	6:58
أكتوبر	2:54	-(10:02)	-(5:36)	12:11	-(8:15)	13:59	-(10:48)	15:20
نوفمبر	-(14:12)	16:20	-(16:22)	16:16	-(18:18)	15:29	-(19:59)	14:02
ديسمبر	-(21:41)	-(11:14)	-(22:28)	8:26	-(23:14)	5:13	-(23:27)	1:47

تعيين التوقيت الشمسى: Determination of the solar time

كل قيم الوقت فى حسابات الطاقة الشمسية تقدر بالتوقيت الشمسى الظاهرى (المعروف كذلك بالتوقيت الشمسى الحقيقى). لذلك فإنه سوف يكون المطلوب تحويل توقيت الساعة إلى التوقيت الشمسى المحلى.

خط الطول جرينتش (خط الطول صفر) يؤخذ كدليل للوقت والوقت المحسوب من منتصف الليل معروف أنه التوقيت العالى أو توقيت جرينتش المدنى: مثل هذا الوقت يقدر بمقياس الساعة من صفر إلى 24 ساعة.

التوقيت المحلى المدنى (LCT) يتم حسابه من خط طول المكان على أى دائرة خط طول معينة. على مكان معين يكون التوقيت المحلى المدنى أكثر تقدماً عنه عند نقطة نحو الغرب. الفرق يقدر بأربع دقائق من الوقت لكل فرق درجة فى خط الطول.

قياس التوقيت بواسطة الحركة النهارية للشمس يسمى التوقيت الشمسى، وهو التوقيت الذى يظهر بواسطة المزولة الشمسية (Sundial) بينما اليوم المدنى هو تحديداً 24 ساعة، واليوم الشمسى يختلف قليلاً بسبب عدم الانتظام لدوران الأرضى، بيضاوية مدار الأرض وعوامل أخرى، بمعنى آخر، بسبب الشكل البيضاوى لمدار الأرض ولزيادة سرعتها عند الرأس حيث النقطة الأقرب إلى الشمس (Perihelicon)، طول اليوم الشمسى الظاهرى، أى الفترة بين مرورين متتاليين للشمس خلال دائرة خط الطول (Meredian)، ليست ثابتة. التوقيت المحلى المدنى يمكن أن يحيد من التوقيت الشمسى الحقيقى بما يعادل 4.5^{o} بسبب حتى إذا كان طول أى يوم شمسى ظاهرى والمقابل له متوسط اليوم الشمسى يختلف قليلاً، فإن التأثير يكون تراكمياً.

الفرق بين التوقيت الشمسى المحلى والتوقيت المدنى المحلى (Local civil time) يسمى معادلة التوقيت. لذلك

(1) LST = LCT + Eq. of Time

الجدول السابق (1/3) يوضح القيم الأسبوعية لمعادلة الوقت لعام (1958) على طول قيم الميل. للأغراض العملية، تلك القيم يمكن استخدامها لأى سنة.

عند مكان معين، قد يختلف توقيت الساعة عن التوقيت المدنى. الساعات عادة يتم ضبطها لنفس القراءة خلال المنطقة الكلية التى تعطى طول 15^{o} من خط الطول. التوقيت فى كل منطقة هو التوقيت المحلى المدنى لدائرة خط الزوال (Meredian) قريباً من مركز المنطقة. مثل هذا التوقيت يسمى التوقيت القياسى (Standard time).

لذلك فإنه يمكن استنتاج أن توصيف التوقيت فى كل علاقة زاوية الشمس هو توقيت شمسى، والذى لا يتطابق مع توقيت الساعة المحلى. من الضرورى تحويل

التوقيت القياسى إلى توقيت شمسى باستخدام تصحيحين. الأول حيث يوجد تصميم قياسى لأى اختلاف بين المكان ودائرة خط الزوال المبنى عليها التوقيت المحلى القياسى (مثال82.5^{o} للهند). التصحيح الثانى هو من معادلة التوقيت التى تأخذ فى الاعتبار مختلف الاضطرابات فى مدار الأرض ومعدل الدوران الذى يؤثر على الوقت، الشمس تبدو أنها تعبر دائرة الزوال للمراقب. هذا التصحيح يتم الحصول عليه من المخططات المنشورة. يمكن استنتاج التوقيت المدنى المحلى من التوقيت القياسى الهندى بمساعدة المعادلة الآتية:

التوقيت المدنى المحلى (LCT) =

التوقيت القياسى (Standard Time) $\pm$ التوقيت القياسى L_{ST} − التوقيت المحلى $4 \times L_{Local}$

التوقيت المحلى القياسى (LST) = (3)

التوقيت القياسى (Standard Time) + E $\pm$ التوقيت القياسى L_{ST} − L_{Local} × 4

العلامة + للغرب، − للشرق.

حيث:

E = معادلةالوقت بالدقائق.

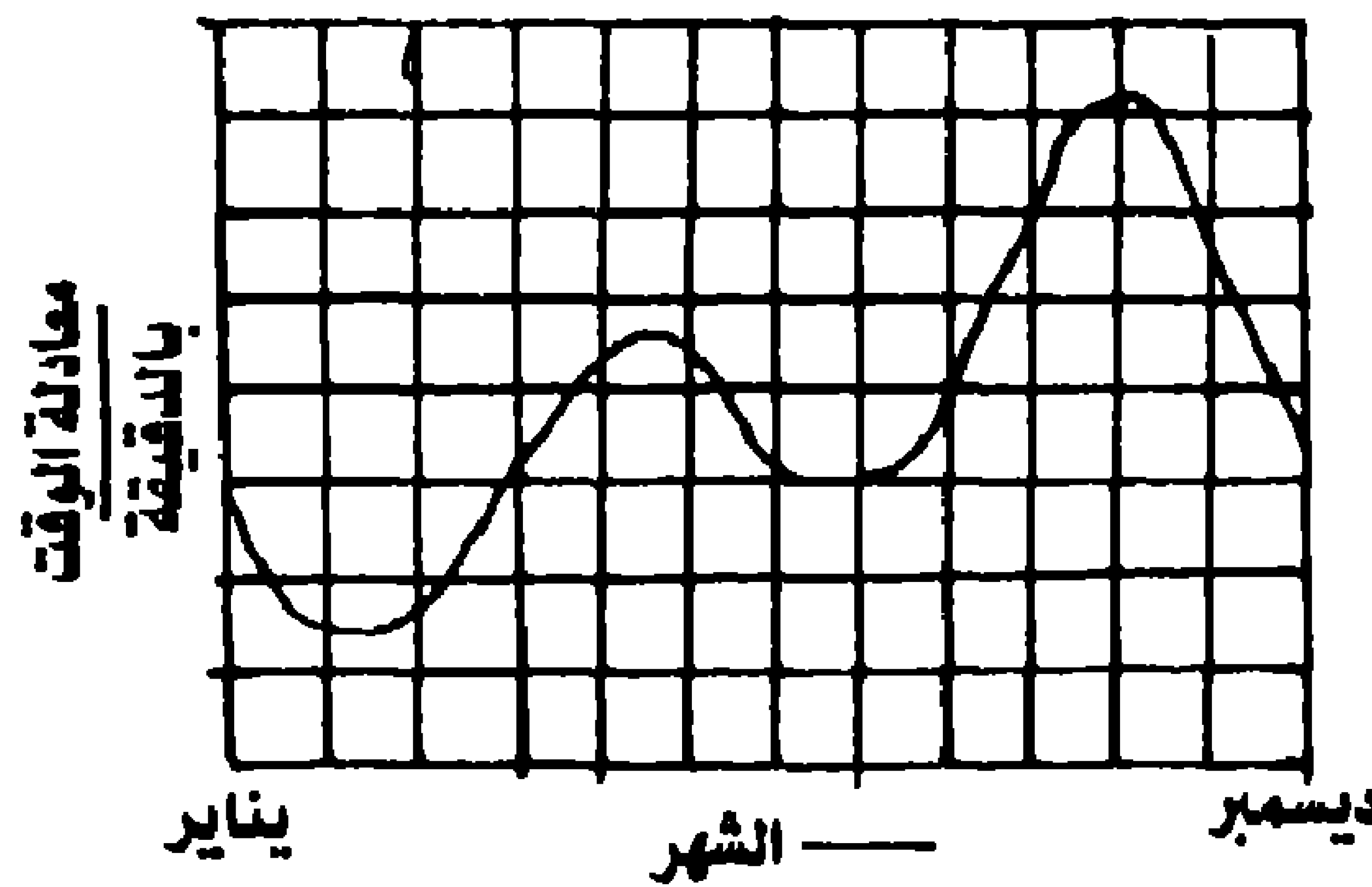
L_{ST} = دائرة خط الزوال القياسى للتوقيت المحلى للمنطقة

L_{LOC} = خط الطول للمكان فى المعادلة بالدرجات غرب أو شرق

العلامة الموجبة هى الشرق والسالبة لغرب نصف الكرة الأرضية. لذلك فإنه فى حالة الهند تؤخذ العلامة السالبة، وبالتالى تصبح المعادلة

LST = توقيت الهند القياسى + E - $(L_{ST} - L_{Loc}) \times 4$ (4)

شكل (12/3) يوضح معادلة تصحيح الوقت



شكل (12/3) يبين معادلة تصحيح الوقت

مثال:

عين التوقيت الشمسى المحلى المقابل لـــ 10 (10.0 a.m) فى 7 فبراير لمكان فى الهند عن87.5^{o} شرق خط الطول.

الحل:

التوقيت الشمسى المحلى (SLT) هو التوقيت المدنى المحلى (LCT) عنـــد 82.5^{o} خط طول شرق (E.Longitude) عند خط طور شرق87.5^{o} يكون التوقيـــت المحلـــى المدنى (87.5 - 82.5) × 4 = 20 دقيقة أى 20 دقيقة وقت متقدم زائد عـــن التوقيـــت المدنى عند خط طول 82.5^{o} للشرق.

لذلك $LST = LST - (L_{ST} - L_{LOC}) \times 4$

$= 10.0 - (82.5 - 87.5) \times 4$

$= 10 + 10h\ 20' = 10{:}20$ A.M

من الجدول السابق، معادلة الوقت = – (14 دقيقة 140 ثانية)

$LST = LCT + E$

$= 10{:}20 - (14'\ 14")$

$= 10h\ 5'\ 46"$

مثال:

عين LST والميل عند (Bhopal) (خط الاستواء $23^{o}\ 15'N$ ، خط طول $77^{o}\ 30'E$) عند LST 12.30 فى 19 يونيو.

الحل :

التوقيت المدنى المحلى هو بالمعادلة الآتية

$LCT = \text{Standard time} - (L_{ST} - L_{LOC}) \times 4$

$= 12h\ 30' - (82^{o}\ 30' - 77^{o}\ 30') \times 4$

$= 12h\ 30' - (5) \times 4$

$= 12h\ 30' - 20'$

$= 12{:}10$

التوقيت الشمسى المحلى طبقاً للآتى :

$LST = LCT + Eq\ of\ Time$

من الجدول (1/3) السابق معادلة الوقت E يمكن استكمالها بالنسبة لـــ 19 يونيـــو $E = (1'\ ,\ 10")$

لذلك $LST = 12^{h}\ 10' - (1'\ 10") = 12^{h}\ 8'\ 59"$

يمكن إيجاد الميل باستخدام المعادلة

$$8 = 23.45 \sin(360 x \frac{284 + n}{365})$$

$$= 23.45 \sin(360 x \frac{284 + 170}{365})$$

$$= 23.45 \sin 446 = 23.45 \sin 86^{\circ}$$

$$= 23.45 \times 0.9976$$

$$= 23.43^{\circ} = 23^{\circ}\ 25'\ 56''$$

الفصـل الـرابع

الإشعاع الشمسى: القياسات، البيانات والتقدير

Solar Radiation: Measurements, Data and Estimation

1- معدات قياس الطاقة الشمسية :

التقدير التجريبى للطاقة المنقولة إلى السطح بواسطة الإشعاع الشمسى تحتاج إلى أجهزة التى تقيس تأثير الحرارة والتسخين للإشعاع الشمسى المباشر والإشعاع الشمسى المنتشر. كذلك يتم عمل القياسات لأشعة الضوء (Beam Radiation) والتى هى نتيجة للإشعاع الشمسى القادم من جزء صغير جداً من حول سماء الشمس. نوع جهاز الإشعاع الكلى يمكن استخدامه لقياس الإشعاع المنتشر فقط، وذلك بتظليل عنصر الإحساس من أشعة الشمس المباشر.

التقسيم :

1- المشماس أو قياس طاقة الشمس الإشعاعية: (Pyrheliometer)

قياس طاقة الشمس الإشعاعية هو جهاز لقياس كثافة الإشعاع الشمسى الساقط عند السقوط العادى، يمكن أن يكون جهاز قياس أولى أو قياسى ثانوى مدرج ومعاير بالإشارة إلى الجهاز الأولى. الأخير أحياناً يسمى جهاز لقياس شدة الإشعاع (Actinometer). المشماس هو عبارة عن تيليسكوب صغير مثل التجهيز المثبت على آلية تحريك التى تجعله يتتبع الشمس خلال اليوم.

2- جهاز قياس الإشعاع السماوى (Pyranometer)

جهاز قياس الإشعاع السماوى يستخدم لقياس الإشعاع الشمسى القادم من كل نصف الكرة الأرضية. فهو مناسب لقياس الإشعاع الشمسى أو الكونى عادة على سطح أفقى. أحياناً يستخدم المصطلح مشعاع الشمس أو مقياس الإشعاع الشمسى (Solarometer) بدلاً من كلمة (Pyranometer). فى حالة تظليله من أشعة الضوء، بحلقة تظليل فإنه يقيس إشعاع التشتت.

المشعاع الشمسى حساس للإشعاع من كل نصف الكره الأرضية وعادة يتم تركيبه بحيث أن يكون نصف الكرة الأرضية هو القيمة السماوية. الطاقة المقاسة بواسطة جهاز قياس الإشعاع الشمسى السماوى هى تلك الطاقة المتاحة لنظام جمع الطاقة الشمسية بالتركيز (Cocusing) جهاز قياس الإشعاع الشمسى المثبت أفقياً يقيس كمية الطاقة الكلية الساقطة على سطح الأرض أو على السطح الأفقى.

3- قياس الإشعاع الأرض (بيرجيوميتر): (Pyrgeometer)

مقياس الإشعاع الأرضى هو جهاز لقياس الإشعاع الأرضى فقط.

4- مقياس الإشعاع السماوى (بيرانوميتر) (Pyranometer = Solarimeter)

البيرانوميتر هو جهاز لقياس كلاً من الإشعاع الشمسى والأرضى أى بالنسبة لإجمالى الإشعاعى الجوى على السطح الأسود الأفقى عند درجة حرارة الهواء العادى.

المقياس الدولى لطاقة الشمس الإشعاعية :

International Pyrheliometer Scale (1956):

مقياس طاقة الشمس الإشعاعية القياسى استخدام لسنين كثيرة (المقيـاس الـدولى لطاقة الشمس الإشعاعية حيث استخدم مقياسه لتصحيح القياسات السابقة الحصول عليها (2% لمقياس Semithsonian، 1.5 لمقياس أنجترون) كل الأجهزة المصنوعة ومعايرة منذ 1956 تستخدم التدريج الجديد.

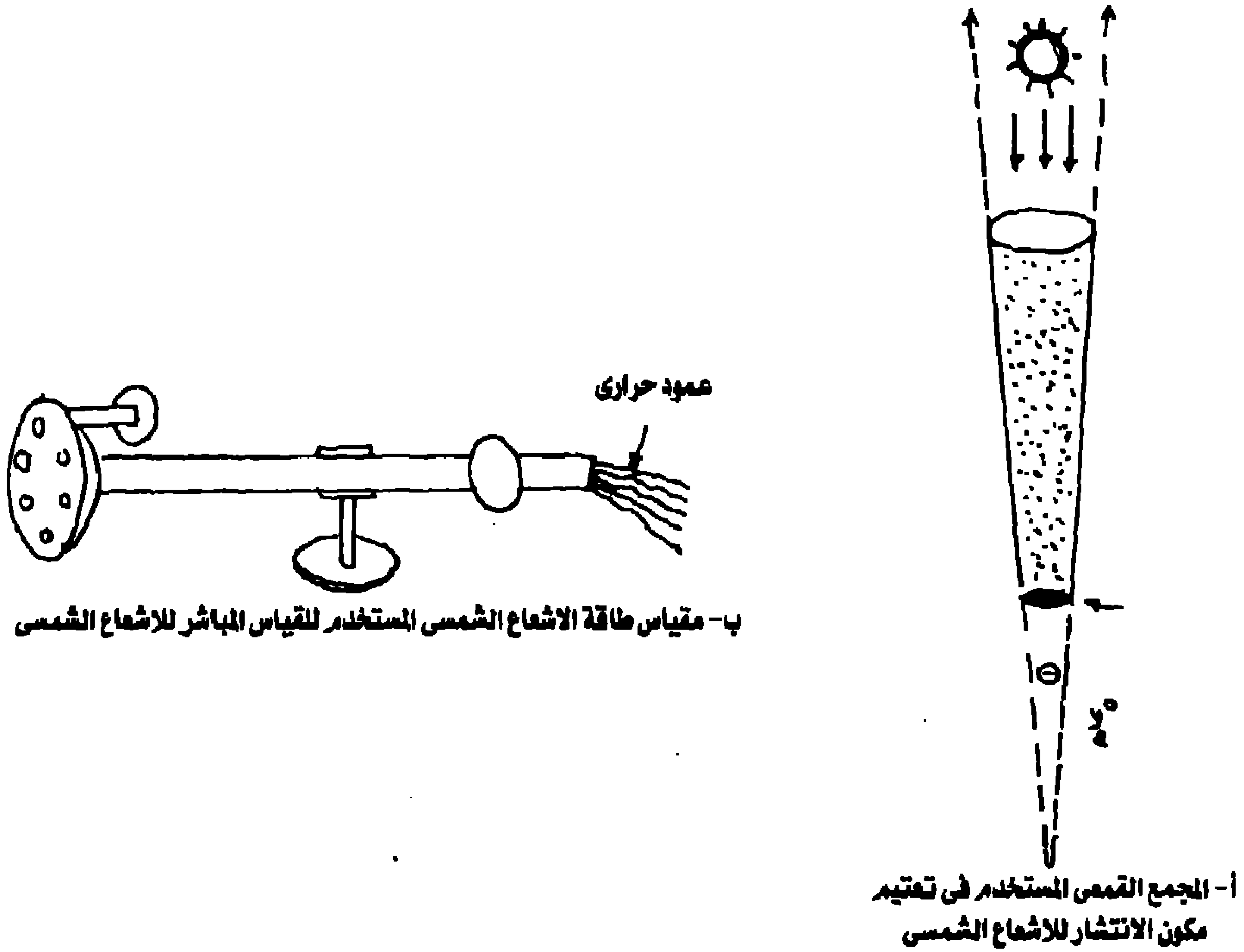
المقياس الدولى لقياس الإشعاع السماوى :

International Pyranometer Standard

لقد تمت مقارنة لمقياس الإشعاع السماوى بواسطة جمعية الطاقة الشمسية الدوليـة فى 1971. نتيجة تلك المقارنة لعدد 21 جهاز قياس شعاع سماوى خلال العام. الهـدف الرئيسى كان اختيار المقياس العيارى الذى يتم استخدامه الذى سيتم به مقارنة مقيـاس الإشعاع السماوى.

مقياس طاقة الشمس الإشعاعية : (Phyreliometer)

معظم أجهزة قياس طاقة الشمس الإشعاعية المستخدمة للقياسات الروتينيـة تعمـل بتأثير العامود الحرارى (بطارية حرارية) (Thermoplile) وهى تشبه (البيرانـوميتر) جهاز قياس الإشعاع السماوى فى هذا المجال. وهى تختلف فـى أنهايجـب أن تتبـع الشمس ميكانيكيا لقياس الضوء الشمسى المباشر فقط. وتجنب مكون التشتت. عمليـا، الإشعاع الشمسى المباشر يتم قياسه بتثبيت الجهاز على حامل استوائى يـدور كهربيـا لتتبع الشمس. مكون التشتت يتم تجنبه بتجهيز أنبوب موجهـة الأشـعة (Collimator Tube) فوق الحساس الذى هو زاوية قمع دائرى حول (5^o). يمكن ملاحظة أن الكثافة الشمسية التى تقاس تشمل كلا من الإشعاع الشمـسى (Beam) والإشـعاع الشمـسى المشتت الذى يأتى من المحيط الشمسى السماوى (Circumsolar sky)، ويجمع بواسطة مقياس طاقة الشمس الإشعاعية (البيرهليوميتر) خلال مجال مقبول. عدم دقـة القيـاس بسبب ذلك الإشعاع المشتت يصعب تقديرها وتزداد فى حالات الجو الـضبابية شـكل (1/4).



شكل (1/4)

المشاكل مع قياسات مقياس الشمس الإشعاعية متعددة، ثقب الزاوية، إسهامات حول الشمس، مدى آلية التعقب. المشكلتين الأولين من المستحيل إبعادهم بسبب عدم القدرة على تعريف قرص الشمس بدقة ومحدودية الأبعاد لمكونات الجهاز. الموضوع العملى المأخوذ بدقة وتوجيه الحساس هم شديدو التشابه. استخدام معاملات التصحيح ليست مستخدمة فقط ولكن لا يعتمد عليها إلى حد ما. المكون الشمسى المباشر على السطح الأفقى يمكن كذلك الحصول عليه باستخدام حلقة التظليل، يتم ذلك بطرح المظلل (المنتشر) من القراءة الغير مظلله (Unshaded) الكونية.

الاستخدام العملى لقياس الإشعاع الشمسى يعتمد أساساً على محولات الطاقة (Trans ducers) الكهربية الحرارية (Thermoelectric). ولكن، محولات الطاقة الفوتوفولتية منخفضة السعر أصبحت أكثر قبولاً فى الاستخدام، لقياس الإشعاع الشمسى المباشر فإن الأسطح المستقبلة يجب أن تكون عمودية على إشعاعات الشمس المباشرة أى الخط الواصل بين الشمس والمستقبل. ثلاث من مقاييس طاقة الشمس الإشعاعية (Pyrheliometer) استخدمت على نطاق واسع لقياس حزمة الأشعة العمودية الساقطة.

(i) مقياس طاقة الشمس الإشعاعية (Angstrom)

(ii) مقياس طاقة الشمس الإشعاعية (Abbot silver disk)

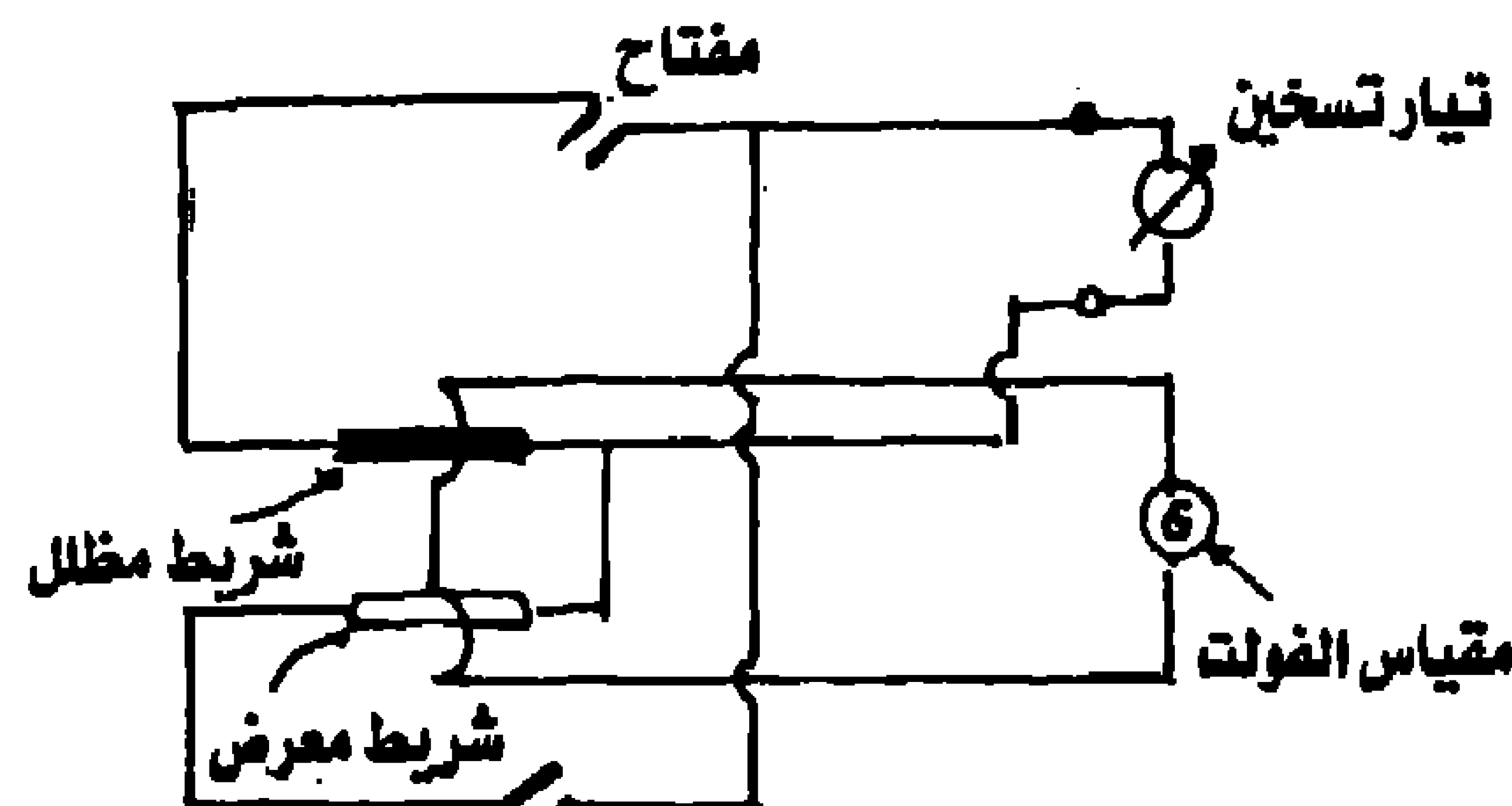
(iii) مقياس طاقة الشمس الإشعاعية Eppley

الأجهزة توفر معايير أولية وثنائية لقياسات الإشعاع الشمسى.

(i) تعويضات مقياس طاقة الإشعاع الشمسى أنجستروم:

Angstrom Compensations pyrheliometer:

فى مقياس طاقة الإشعاع الشمسى هذا يتم تسخين شريط من سبيكة المنجنين (Manganin) والتى هى من سبيكة من النحاس والمنجنيز والنيكل (فى أبعاد 20 × 2 × 0.1 مليمتر) رقيقة سوداء مظللة حيث يتم التسخين كهربياً حتى تصل إلى نفس درجة الحرارة مثل شريط مشابه معرض للإشعاع الشمسى. وهذا موضح طبقاً للمخطط فى الشكل (2/4).



شكل (2/4) مخطط لدائرة كهربية لمقياس طاقة الاشعاع الشمسى بالانجستروم (10^{-10} متر)

فى ظروف حالات الاستقرار (كلا الشريطين عند درجة حرارة متشابهة) فإن الطاقة المستخدمة فى التسخين تساوى الطاقة الشمسية الممتصة. المزدوجات الحرارية (Thermocouples) على ظهر كل شريط، متصلاً بالعكس خلال مقياس جهد حساس (أو أى مكتشف آخر) تستخدم لاختبار تساوى درجة الحرارة. الطاقة (H) للإشعاع المباشر يتم حسابها بواسطة المعادلة الآتية :

$$H_{DN} = K_i^2$$

حيث:

H_{DN} = الإشعاع المباشر الساقط على مساحة عمودية على أشعة الشمس.

i = تيار التسخين بالأمبيرات.

K هو أبعاد ثابت الجهاز = $\frac{R}{Wa}$

حيث R هى المقاومة لوحدة الطول للشريط الماص (Ω/cm)

W هى متوسط العرض لشريط المص، cm , α هما معامل الامتصاص لـشريط المص

(ii) مقياس طاقة الإشعاع الشمسى أبوت القرص الفضى

Abbot silver Disk pyrheliometer:

هذا المقياس يتكون أساساً من قرص من الفضة مطلى باللون الأسود موضوع عند الطرف السفلى لأنبوب مزود بأغشية (Diaphrgms) لتحدد درجة الحرارة الكلية عـن 5.7°م. يستخدم الزئبق فى ترمومتر زجاجى لقياس درجة الحرارة للقرص. يتم تـوفير غطاء متحرك (Shutter) مصنوع من ثلاث أوراق معدنية عنـد الطـرف العلـوى للأنبوب للسماح للإشعاع الشمسى بالسقوط على القرص على فترات منتظمة والتغيرات المقابلة فى درجة حرارة القرص يتم قياسها. ساق الترمومتر يتم إخفـاءه خـلال 90° بحيث يقع على طول الأنبوب لخفض تعرضه للشمس.

الجهاز يجب معايرته مقابل معيار أولى، ولكن وجد أن استقرارها يكون جيدا وأنهم مستخدمين كثيراً لمعايرة أجهزة قياس طاقة الإشعاع الشمسى.

(iii) مقياس الإشعاع الشمسى Eppley:

Eppley Pyreheliometer

العنصر الحساس فى مقياس الإشعاع الشمسى (إبلى) هو مزدوج حرارى لتعويض الحرارة 15 وصلة بزمت فضة المثبتة على قاعدة أنبوب مـن الرصـاص الأصـفر (Brass)، الأغشية المحدد التى تقابل زاوية (5.7°). جهاز قياس التغيرات الطفيفة فـى الحرارة (Thermoile). هو أساساً سلسلة منتظمة من المزدوجات الحرارية المستخدمة لتوفير فرق جهد أكبر من الممكن باستخدام واحد فقط. الأنبوب يكون مملوء بـالهواء الجاف ويتم عزله بواسطة نافذة بلورة كوارتز القابلة للإزالة.

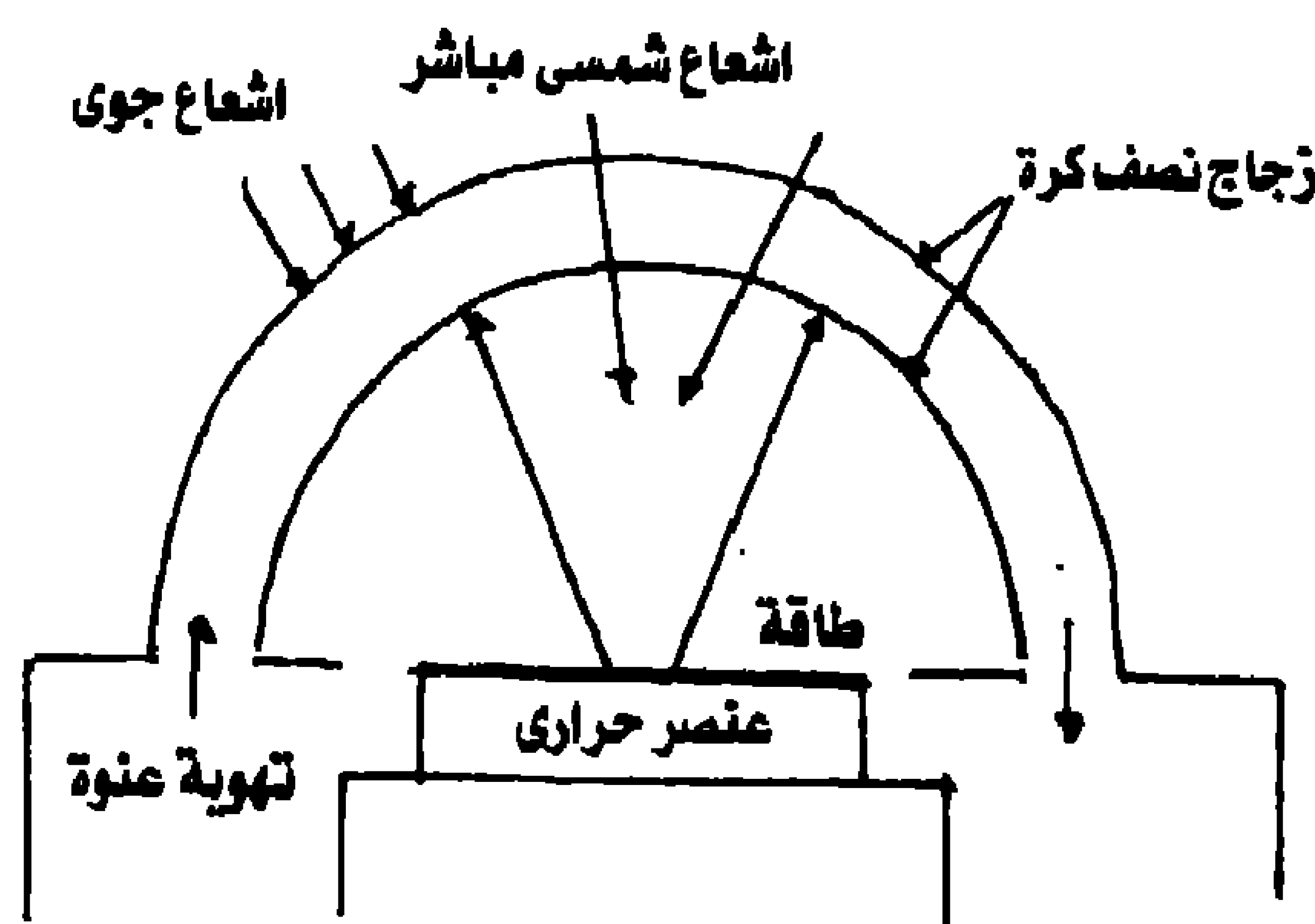
وهو جهاز مستقر ويمكن أن يستخدم كمساعد قياسى (Sub-standard) هذا الجهاز لاقى قبول فى الولايات المتحدة، وفى أجزاء كثيرة من العالم.

مقياس الإشعاع السماوى: (Pyranometers)

مقياس الإشعاع السماوى العادى مبنى على كشف الاختلاف بين درجـة حـرارة الأسطح السوداء (التى تمتص معظم الإشعاع الشمسى) والسطح الأبيض (الذى يعكـس معظم الإشعاع الشمسى) بواسطة جهـاز قيـاس التغيـرات الطفيفـة فـى الحـرارة (Thermopiles). محمى جيداً من الريح وتم تعويضه للتغيرات فى درجـة الحـرارة

العادية، أجهزة قياس التغيرات الطفيفة فى درجة الحرارة تعطى إشارات بالمليفولت التى يمكن اكتشافها بسرعة، وتسجيلها، وتكاملها مع الوقت.

مقياس الإشعاع السماوى موضح فى الشكل (3/4).



شكل (3/4) مقياس طاقة الإشعاع الشمسى للأشعة الكونية

أساساً يتكون مقياس الإشعاع السماوى من سطح أسود والذى يسخن عند تعرضه للإشعاع الشمسى. تزداد درجة حرارته لحين يصل معدل اكتسابه للحرارة بالإشعاع الشمسى مساوياً لمعدل فقده للحرارة بالحمل الحرارى (Convection)، التوصيل والإشعاع. الوصلات الساخنة لجهاز قياس التغيرات الطفيفة فى الحرارة تكون متصلة بالسطح الأسود، بينما الوصلات الباردة تكون موضوعة بالطريقة التى لا تستقبل بها إشعاعاً، نتيجة لذلك، يتم توليد فرق جهد والذى هو قياس للإشعاع الكونى (Global Radiation).

فى هذه الحالة يكون السطح الحساس معرضاً إلى الإشعاع الكلى (حزمة أشعة + المنتشر + والمنعكس من الأرض وما يحيط). ملتصق بالسطح الحساس جهاز قياس المتغيرات الطفيفة فى الحرارة (Thermopile) الذى له وصله باردة معزولة كهربياً من الجزء الأسفل. الفرق فى درجات الحرارة بين الوصلات الباردة والساخنة هو دلالة للإشعاع الساقط على السطح. السطح الحساس يكون مغطى بقبتين زجاجيتين نصف كروية لحمايته من الرياح والمطر والتأثيرات المناخية الأخرى.

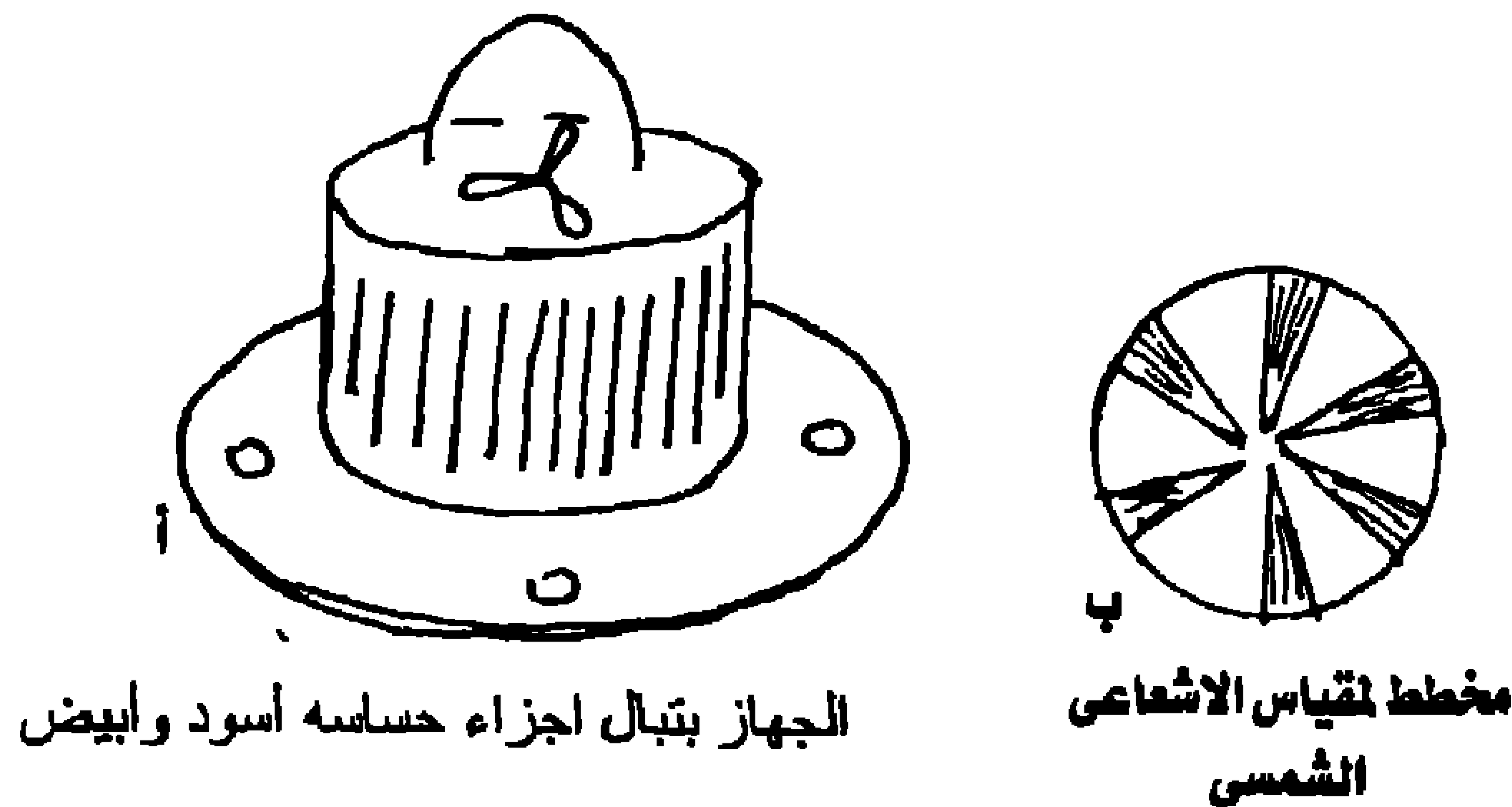
المكون الأكثر حساسية فى الجهاز هو القبة الزجاجية (Glass Dome) والتى يجب أن لها خواص انتقال عالية التجانس خلال المجال الطيفى من 0.3μm إلى 3.0μm.

يمكن عمل قياس الإشعاع المشتت بطريقة غير مباشرة فقط. الطريقة الأولى هو باستخدام مقياس طاقة الشمس الإشعاعية (Pyrheliometer) لقياس الإشعاع الشمسى

المباشر عند السقوط العمودى وطرحه من قيمة الإشعاع الكلى الكونى (Total - Global) فى الطريقة الثانية والأكثر استخداما لقياس الإشعاع المشتت، حيث تستخدم تجهيزه مناسبة لمنع الإشعاع الشمسى المباشر من الوصول إلى مستقبل (Receiver) جهاز قياس الإشعاع السماوى (Pyranometer). يتم تعتيم جهاز قياس الإشعاع السماوى من الإشعاع الشمسى المباشر إما بواسطة قرص الذى يعمل ليتحرك مع الشمس وبذا تبعث بظلها على المستقبل لجهاز قياس الإشعاع السماوى أو بواسطة حلقة الظل (Shadow Ring). حلقة التظليل تكون مثبته بالطريقة بحيث يكون سطحها موازياً لسطح المسار لحركة الشمس اليومية عبر السماء، وأنها تظل عنصر جهاز قياس التغيرات الطفيفة فى الحرارة (Thermopile) والقبتين الزجاجيتين لجهاز قياس الإشعاع السماوى فى جميع الأوقات من ضوء الشمس المباشر. لذلك، فإن جهاز قياس الإشعاع السماوى يقيس الإشعاع المشتت فقط القادم من السماء. يحمل جهاز قياس الإشعاع السماوى على حلقة تظليل.

(i) جهاز قياس الإشعاع السماوى إبلى (Eppley Pyranometer)

وهو مبنى على المبدأ السابق وأصبح الجهاز الأكثر استخداماً. وهو يستخدم حلقات فضية متحدة المركز ذات سمك 0.25 مليمتر، مغطاة أسود وأبيض، بواسطة وصلات مقياس التغير الحرارى الطفيف 10 أو 50 لاكتشاف الفرق فى درجة الحرارة بين الحلقات المغطاة (Coated Rings). النماذج التالية استخدمت أوتاد (Wedges) منظمة فى إطار دائرى، مع التغطيات التبادلية أسود وأبيض. الأقراص أو الأوتاد تكون محتجزه فى غطاء زجاجى نصف كروى. أجهزة مشابهة مصنوعة فى أوربا تحت اسم (Kipp). جهاز القياس إبلى والأجهزة المشابهة يتم معايرتها فى وضع أفقى. معايرة تلك الأجهزة سوف تختلف إلى درجة ما إذا كان الجهاز مائلاً لقياس الإشعاع مقارنة فى حالة السطح الأفقى.



شكل (4/4) مقياس طاقة الإشعاع الشمسى

(ii) المقياس الشمسى ييلوت (Yellot solarimeter)

الخلية الفوتوفولية الشمسية (Photovoltaic solar cell)

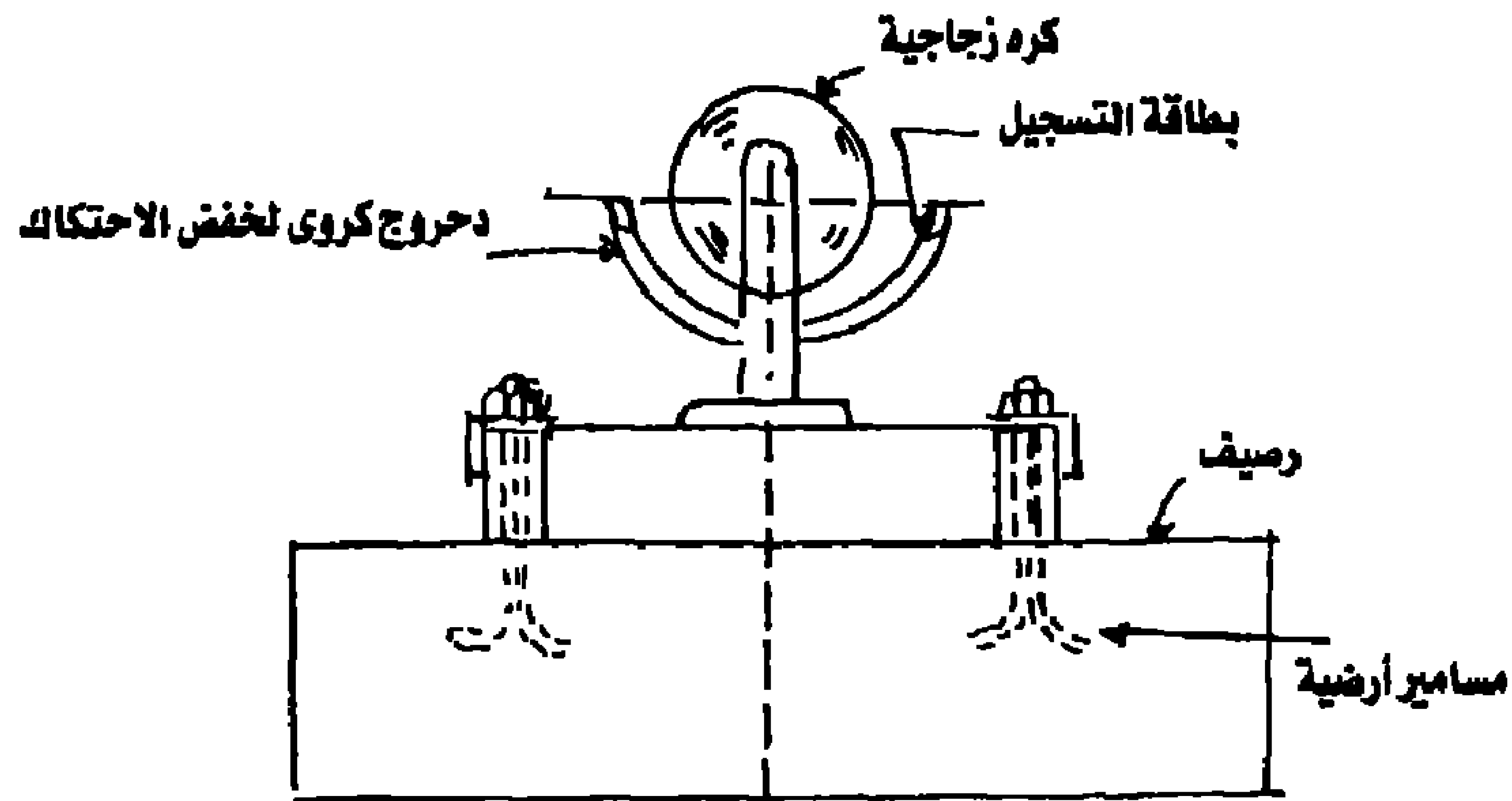
لقد استخدمت أجهزة قياس الإشعاع السماوى كذلك فى الخلايا الشمسية الكاشفات الفوتوفولتية . خلايا السيليكون هى الأكثر شيوعاً فى الطاقة الشمسية. خلايا السيليكون الشمسية لها خاصية أن تيارها الخفيف (Light current) (يساوى تقريباً تيار القفله (Shortcircuit) عند مستوى الإشعاع العادى) هو دلالة طولية للإشعاع الشمسى الساقط. وسلبياتها أن رد الفعل الطيفى ليس طولياً، لذلك فإن معايرة الجهاز هى بدلالة التوزيع الطيفى للإشعاع الساقط.

أجهزة قياس الإشعاع السماوى الأخرى المستخدمة هى:

Moll Gorezyneeki solarimeter, Bimetallic Actinographs of the Rabitzschtype, velochine pyranometer, thermoelectric pyranometer.

4- مسجل الإشعاع الشمسى (Sun Shine Recorder)

يكون مطلوباً كذلك فترة لسطوع الشمس فى اليوم. ذلك الجهاز يستخدم لقياس الفترة بالساعات لسطوع الشمس خلال اليوم. وهو يتكون أساساً من كره زجاجية مثبته على مقطع من التجويف الكروى من النحاس الأصفر (Brass) مع وجود أخاديد لإمساك بطاقات السجل. الكره تحرق مسار على البطاقة عند تعرضها للشمس، طول المسار لكونه قياس مباشر لفترة سطوع ضوء الشمس. توجد مجموعة من الأخاديد لأخذ ثلاث مجموعات من البطاقات، الطويل المنحنى للصيف، القصير المنحنى للشتاء، والبطاقات المستقيمة عند الاعتدال الربيعى أو الخريفى.



شكل (5/4) مسجل الإشعاع الشمسى

الكره الزجاجية والتى هى بقطر حوالى 10سم ومحورها مثبت على مقطع تجويف كروى موازى لذلك للأرض. الكره تعمل كعدسة والصورة المركزه للشمس تتحرك

على طول ورقة معدة خصيصاً التى تحمل تدرج الوقت. مع كثافة إشعاع الشمس أكثر من 200 وات/ المتر المربع، يحدث تأثير إحراق على الورقة. طريقة حلم الكره تختلف وتتوقف على المكان حيث يحدث القياس، تحديداً خط العرض القطبى. (Polarlatitude)، استوائى، معتدل. يتم توفير ثلاث من أزواج الأخاديد المتطابقة فى الجزء الكروى لتثبيت الكره لمختلف المواسم خلال العام.

يمكن ملاحظة أن الجهاز لا يعطى ساعات سطوع شمسى مظبوطه لأنه فى ساعات الصباح والمساء الإشعاع الشمسى لا يكون بالكثافة الكافية لحرق علامة على المخطط (Chart). ساعات سطوع الشمس تقاس فى كل العالم باستخدام سجلات سطوع الشمس ماركة (Camphell stokes).

5- معلومات وبيانات الإشعاع الشمسى : (Solar RadiationData)

معلومات الطاقة الشمسية متاحة فى أشكال متعددة ويجب أن تشمل المعلومات الآتية :

1- ما إذا كانت قياسات لحظية أو قيم تكاملية خلال بعض من الوقت (عادة ساعة أو يوم).
2- وقت الفترة الزمنية للقياس.
3- سواء كانت القياسات لحزمة أشعة (Beam) أو التشتت أو للإشعاع الكلى والجهاز المستخدم.
4- توجيه السطح المستقبل (عادة أفقى، يمكن أن يكون مائلاً عند ميل ثابت، أو عمودى).
5- فى حالة المتوسطات، فإن الفترة التى يتم خلالها أخذ المتوسطات (مثال، متوسط شهرى، أو يومى للإشعاع).

معظم المعلومات والبيانات نحو الإشعاع الشمسى المستقبل على سطح الأرض يتم قياسها بواسطة المقياس الشمسى (Solarimeter) الذى يعطى قراءات للقياسات اللحظية عند معدل خلال اليوم للإشعاع الكلى على سطح أفقى.

توحيد التوقيع لمعدل الطاقة المستقبلة بمعدل وحدة الزمن على وحدة المساحة خلال كل اليوم يعطى للانغلى (وهذه هى وحدة لقياس الإشعاع الشمسى Langley) للإشعاع المستقبل على سطح أفقى. فمثلاً، الإشعاع الشمسى الكلى اليومى المستقبل فى كلكتا (خط عرض 20° 32" شمالا) على أساس المتوسط السنوى هو 680 لانغلى (أى 680 كالورى/سم^2 فى اليوم).

بيانات الإشعاع الشمسى متاحة كذلك من الخرائط - الخرائط يمكن استخدامها كمصدر لمتوسط الإشعاع فى حالة عدم توفر البيانات.

كذلك توجد مخططات متاحة للإشعاع الأفقى لليوم الصافى ولأى فترة لأى خط عرض. كذلك توجد جداول لساعات سطوع الشمس لمختلف الأماكن.

6- تقدير متوسط الإشعاع الشمسى:

أحد التقديرات القديمة، للمتوسط الشهرى للإشعاع الشمسى (Hav) كان بواسطة (Angstrom) عام 1924 والذى هو

$$H_{av} = H_o^1[a' + b'\frac{\overline{n}}{N}]$$

حيث:

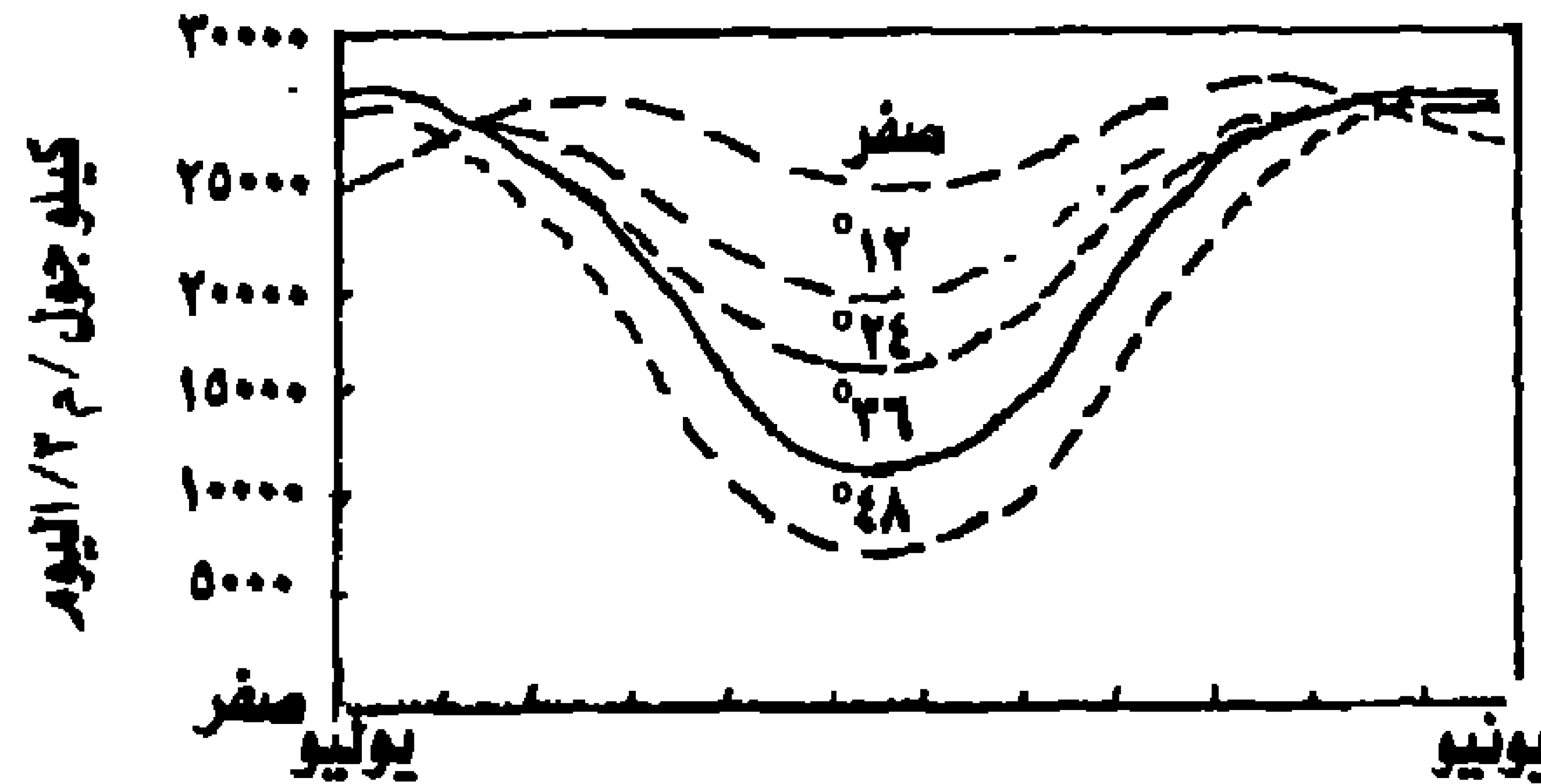
a' , b' هما ثوابت احتياطية أو تحكمية، اقترح (Freitz) عام 1951 أن a' = 0.35 ، b' = 0.61.

HÓ = المتوسط الشهرى للإشعاع الشمسى الأفقى لليوم الصافى

ń= متوسط الساعات اليومية لسطوع الشمس لنفس الفترة الزمنية.

N = أقصى ساعات يومية للسطوع الشمس لنفس الفترة الزمنية.

القيم HÓ للاستخدام فى المعادلة. (6) يمكن الحصول عليها من المخططات الموضحة فى الشكل (6/4).



شكل (6/4) الإشعاع الشمسى على مستوى أفقى ليوم صافى عند مختلف خطوط العرض

طول اليوم يمكن الحصول عليه من المخطط البيانى الذى أعده (Whillier) شكل (7/4) أو يمكن حسابه من المعادلة $H_{av} = H_o [a + b\, ń/N$ (7)

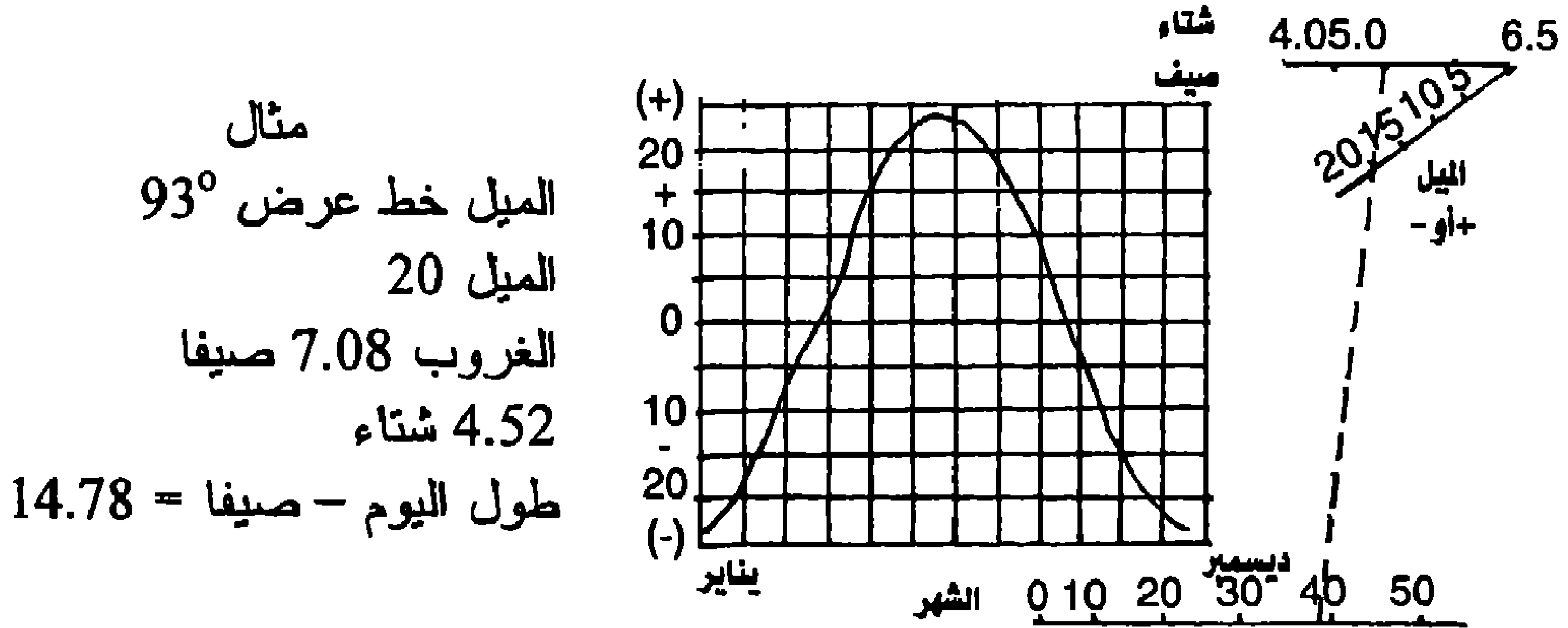
حيث:

$$H_{av} = H_o[a + b\frac{\overline{n}}{N}]$$

Ho = متوسط الأشماس الشهرى عند قمة الغلاف الجوى

a,b هما ثوابت تحكمية تتوقف على المكان.

الثوابت a ,b لمختلف الأماكن وحالات المناخ يمكن الحصول عليها من الجداول القياسية.



شكل (7/4) المخطط لحساب طول اليوم بالساعات

7- تقدير الإشعاع المباشر والمشتت

Estimation of Direct and diffused radiation:

أ- فى الأيام حيث لا توجد سحب :

عند دخول الشعاع الشمس إلى الغلاف الجوى فإن بعضاً منه يمتص وبعضاً منه ينتشر والباقى يخترق الغلاف الجوى. الأشعة التى اخترقت تسمى الإشعاع المباشر بينما الجزء من الإشعاع المنتشر الذى يصل إلى الأرض يسمى الإشعاع المشتت (Diffused). التعبير الإشعاع المشتت يعنى به الإشعاع قصير الموجة نسبياً الآتى من السماء وليس من الإشعاع الحرارى الجوى والذى له أطول موجه أطول كثيراً عن الإشعاع السماوى المنتشر. كلا النوعين من الإشعاع يتأثر بمحتوى الغلاف الجوى من الأوزون، المحتوى من بخار الماء، والمحتوى من الغبار والارتفاع الشمسى وعوامل الاستنزاف للأشعة الأخرى، التى تؤثر عليهم كذلك. لقد وجد Jordon, Liu فى عام 1960 أن الأماكن الخالية من الغبار مع أدنى محتوى من بخار الماء فى الجو فإن كلاً من الإشعاع المشتت (Diffuse) والمباشر (Direct) يختلف بالنسبة لكل منهما بطريقة طولية وكلاهما دلالات لكتلة الهواء.

لقد اقترح العالمان (Jordon, Liu) المعادلة الآتية للأماكن الخالية من السحب ومن الغبار.

$Td = 0.2710 - 0.2930\ T_D$

$Td = 0.3840 - 0.4160\ T_T$

حيث Td = هو معامل الانتقال للإشعاع المشتت على سطح أفقى، Hd/Ho النسبة للإشعاع المشتت إلى الإشعاع الشمسى خارج جو الأرض المستخدم. كان الإشعاع الشمسى خارج جو الأرض للعالمان (Jordon, Liu) هو ($0.1396 W/Cm^2$). كذلك TD = Hb/Ho هى نسبة الإشعاع المباشر إلى كثافة الإشعاع الشمسى خارج الغلاف الجوى، T_T = H/Ho هى نسبة الإشعاع الشمسى إلى كثافة الإشعاع الشمسى خارج الغلاف الجوى.

ب- أثناء الأيام حيث توجد السحب:

لقد اقترح كلاً من Pat, Sharma المعادلة الآتية لحساب الإشعاع الشمسى المباشر والمشتت على سطح أفقى

$$(1)\ \frac{Hb}{H} = \left[\frac{CN}{CN+K}\right]\left[\frac{A\sin^2 \propto}{\sin^2 \propto + CN}\right]$$

(2) Hd = H - Hb

H = الإشعاع الشمسى الكلى

α= زاوية ارتفاع الشمس عن الأرض بالدرجات.

CN = أرقام التجاو.

= صفر إلى 0.5 للجو حيث السحب وفوق الشواطئ

= 0.5 إلى 0.7 للجو المضطرب

= 0.75 إلى 1.1 للجو الصافى

= 1.1 إلى 1.3 للجو الصافى جداً.

كلاً من K , A هما ثوابت والتى تتغير قليلاً مع زاوية الشمس كما فى الجدول التالى:

$$\sin\alpha = \sin\phi \sin\delta + \cos\omega \cos\delta \cos\phi$$

جدول (1/4) قيم A , K فى المعادلة السابقة

B	A	زاوية ارتفاع الشمس عن الأرض بالدرجات
0.832	1.7500	10
0.972	1.8250	15

1.075	1.8885	20
1.175	1.9563	25
1.245	2.2090	30
1.300	2.0747	35
1.335	2.1159	40
0.365	2.1489	45
0.390	2.1703	50
1.410	2.1910	55
1.458	2.2074	60
1.440	2.1177	65
1.553	2.2379	70
1.428	2.2364	75
1.463	2.2423	80
1.470	2.2500	85
1.4750	2.2542	90

8- نسبة إشعاع الحزمة الضوئية على السطح المائل إلى تلك على السطح الأفقى:

فى الحساب الشمسى يكون من الضرورى عادة تحويل البيانات للإشعاع كل ساعة (مقاس أومقدار) على سطح أفقى إلى ذلك على سطح مائل. يلاحظ عـادة أن أجهـزة القياس تغطى قيم الإشعاع الشمسى الساقط على سطح أفقى. ولكـن معظـم المعـدات الشمسية لامتصاص الإشعاع الشمسىتكون مائلة بزاوية نحو الأفقى. لذلك فإنه يكـون من الضرورى حساب كثافة الإشعاع التى تسقط على سطح أفقى أو مائل. الشكل 4/8 يبين الإشعاع على السطح الأفقى أو المائل. لذلك فإنه يكون :

$H = Hn\ Cos\theta_2$

و $H_T = Hn\ Cos\theta_T$

$$Rb = \frac{H_T}{H} = \frac{HnCos\theta_T}{HnCos\theta_2} = \frac{Cos\theta_T}{COS\theta_2}$$

باستبدال قيم $(Cos\ \theta_2)$, $(Cos\theta_T)$ من المعادلات (1) و (3) فإننا نحصل على

$$Rb = \frac{Sin(\phi - s)\sin\delta + Cos(\phi - s)CosCosW}{Sin\phi Sin\delta + Cos\phi Cos\delta CosW}$$

حيث : Rb = نسبة الإشعاع على السطح المائل H_T إلى الإشعاع على السطح الأفقى H.

θ_2 , θ_T زوايا السقوط للحزمة الضوئية على كلا من الأسطح المائلة والأفقية.

توجد مخططات لقيمة Rb مقابل الميل لزاوية ارتفاع معينة وميل معين.

9- نسبة الإشعاع الكلى على السطح المائل لذلك على السطح الأفقى:

مكونات الحزمة الضوئية والتشتت للإشعاع الشمسى يتم امتصاصها فى مجمع السطح المستوى. معامل التصحيح الزاوى تم تعيينه لحزمة الإشعاع الضوئى (Beam radiation) فى البند الأخير. التصويب لإشعاع التشتت يمكن استخدامه للأيام الصافية، لذلك فإنه يمكن فرضية أن أصلهم هو قرب الشمس، أى أن الانتشار للإشعاع الشمسى هو غالباً انتشار إلى الأمام. لمثل تلك الحالة يمكن افتراض أن (R) تساوى (Rb) حيث (R) هى معامل التصميم لكل من الإشعاع المباشر والمشتت.

$$\frac{H_T}{H} = R$$

$$H_T = R\,(Hb + Hd)$$

بالنسبة للأيام حيث الضباب والسحب يمكن افتراض أن إشعاع التشتت كما أنه موزع بانتظام على السماء. النسبة المؤثرة للطاقة الشمسية على السطح المائل إلى تلك على السطح الأفقى هى عندئذ.

$$R = \frac{H_T}{H} = \frac{H_b}{H} R_b + \frac{H_d}{H}$$

قام كلاً من Jordon, Liu بتطوير هذا النموذج باعتبار الإشعاع على السطح المائل أنه مكون من ثلاث مكونات، إشعاع الحزمة الضوئية (Beam Radiation)، الإشعاع الشمسى المشتت (Diffuse solar radiation) والإشعاع الشمسى المنعكس من الأرض الذى يراه السطح المائل، السطح المائل بميل (S) من الأفقى يرى (1+Cos S/2) من القيمة السماوية وهذا كذلك هو معامل التحويل للإشعاع المشتت. كذلك فإن السطح المائل يرى الأرض أو الأشياء المحيطة الأخرى وإذا كانت تلك الأشياء المحيطة الأخرى لها انعكاس مشتت قيمته (P) للإشعاع الشمس، فإن الإشعاع المنعكس من الأشياء المحيطة على السطح من إجمالى الإشعاع الكلى هو:

$$(Hb + Hd)\,(1 - Cos\ S)\,P/2$$

بتوحيد الثلاث مصطلحات، فإن إجمالى كثافة الإشعاع الشمسى أو (Flux) الساقط على السطح المائل يكون كالآتى:

$$H_T = H_b R_b + H_d \frac{1+Cos}{2} + (H_b + H_d)\frac{(1-CosS)}{2} P$$

$$R = \frac{H_b}{H} R_b + \frac{H_b}{H}\frac{1+Cos\delta}{2} + \frac{(1-CosS)}{2} P$$

اقتراح Liu , Jordon أن P = 0.2 عندما لا يكون هناك برد، 0.7 عندما يكــون هناك غطاء من الثلج. والمنطقتان فإن قيمة P = 0.2 مقبولة عموماً.

مثال:

أ- أوجد Rb فى 15 فبراير، لسطح مائل بزاوية 30^o نحو خط الاستواء عنـد الساعة العاشرة قبل الظهر لمكان، حيث خط العرض = $20^o51'N$.

ب- إذا كان 0.25 من إجمالى الإشعاع الشمسى يكون مــشتتاً، 0.57 يكــون إشعاع الحزمة الضوئية. قدر قيمة R بفرض أن مكون التشتت ســاقط بانتظــام علــى السطح من السماء والأرض.

جـ- أحسب قيمة (R) طبقاً لنموذج Jordon , Liv

الحل :

أ- بفرض أن الساعة العاشرة قبل الظهر كتوقيت شمسى ، زاوية التوقيت

$30^o = 15^o \times 2 =$ W (hour Angle)

$-o-15^o = 30^o - 29^o\ 51 = \Phi$-S

$$(1)\ \ H_b = \frac{Cos(\phi - s)Cos\delta CosW + Sin(\phi - s)Sin\delta}{Cos\phi Cos\delta W + Sin\phi Sin\delta}$$

$$8 = 23.45Sin(360x\frac{284+46}{365})$$

$= 23.45\ Sin\ 235^o$

$= -23.45 \times 0.5736$

$= -13.45$ أو $= -13^o\ 27^o$

باستبدال القيم فى (1) لذلك

$$Rb = \frac{Cos0.15Cos(-13.45)Cos + Sin(-0.15)Sin(-13.45^o)}{Cos29.85Cos(-13.45)Cos30 + Sin29.85Sin(-13.45^o)}$$

$$= \frac{1x0.9725 + 0.8660 + 0.0026x0.2325}{0.8673x0.9725x0.866 - 0.4978x0.2325}$$

$$= \frac{0.84218 + 0.00060}{0.7304 - 0.1157} = \frac{0.84278}{0.6147} = 1.3710$$

ب- $R = \frac{H_b}{H} R_b + \frac{H_d}{H}$

= .75 x 1.3710 + 0.25

= 1.2782

جـ- طريقة Jordon , Liv

(i) باستبدال لحال عدم وجود برد P = 0.2

$$R = \frac{H_b}{H} R_b + \frac{H_d}{H} \frac{1 + Cos}{2} + \frac{(1 - Cos\delta)}{2} P$$

$$= 0.75x1.3710 + 0.25 \frac{1 + 0.866}{2} + \frac{1 - 0.866}{2} 0.2$$

= 1.0128 + 0.2332 + 0.0135 = 12595

(ii) بالنسبة لحالة وجود برد (ثلج) P = 0.2

$$R = 0.75x1.3710 + 0.25 \frac{1 + 0.866}{2} + \frac{1 - 0.866}{2} 0.2$$

= 1.0128 + 0.2332 + 0.0135 = 1.2595

(iii) بالنسبة لحالة وجود برد (ثلج) P = 0.7

$$R = 0.75x1.3710 + 0.25 \frac{1 + 0.866}{2} + \frac{1 - 0.866}{2} 0.7$$

$$= 1.0282 + 0.2332 + \frac{0.134}{2} x0.7$$

= 1.0282 + 0.2332 + 0.0469

= 1.3083

الفصل الخامس

المجمعات الشمسية:
مجمعات لوح السائل المستوى

Solar collectors:
Liquid flat plate collector

1- مقدمة:

المجمع الشمسى (Solar collector) هو تجهيز مصمم لامتصاص الإشعاع الشمسى الساقط ونقل الطاقة إلى السائل الذى يمر بالالتصاق معها. استخدام الطاقة الشمسية يتطلب المجمعات الشمسية. يوجد نوعين وهما المجمع ذو اللوح المستوى (Flat plate) ومجمع التركيز (Focusing).

يمكن استخدام تقسيم المجمعات الشمسية طبقاً لخصائصها فى التجميع، وطريقة تثبيتها ونوع سائل الانتقال المستخدم.

خصائص التجميع : (Collecting characteristics)

مجمع اللوح المستوى أو بدون تركيز هو الذى فيه سطح الامتصاص للإشعاع الشمسى يكون مستوياً بدون أى وسائل لتركيز الإشعاع الشمسى القادم. مجمع التركيز هو ذلك الذى يحتوى عادة عواكس (Reflectors) أو يستخدم طرق بصرية أخرى لتركيز الطاقة الساقطة على فتحة إلى المبادل الحرارى ذو مساحة سطحية أصغر من الفتحة.

التثبيت: (Mounting)

يمكن تثبيت المجمع ليظل ثابتاً، مع الضبط لزاوية ميل (مقاسه من الأفقى) لتتبع التغير فى ميل الشمس أو أن يتم التصميم لتتبع الشمس. التتبع يتم باستخدام أما بالركوبه الاستوائية (حيث يبقى المجمع موجها نحو الشمس) (Equatorial Mounting)، أو ركوبه ارتفاعية (Altazimuth mounting)، بهدف زيادة الامتصاص للإشعاع الشمسى اليومى.

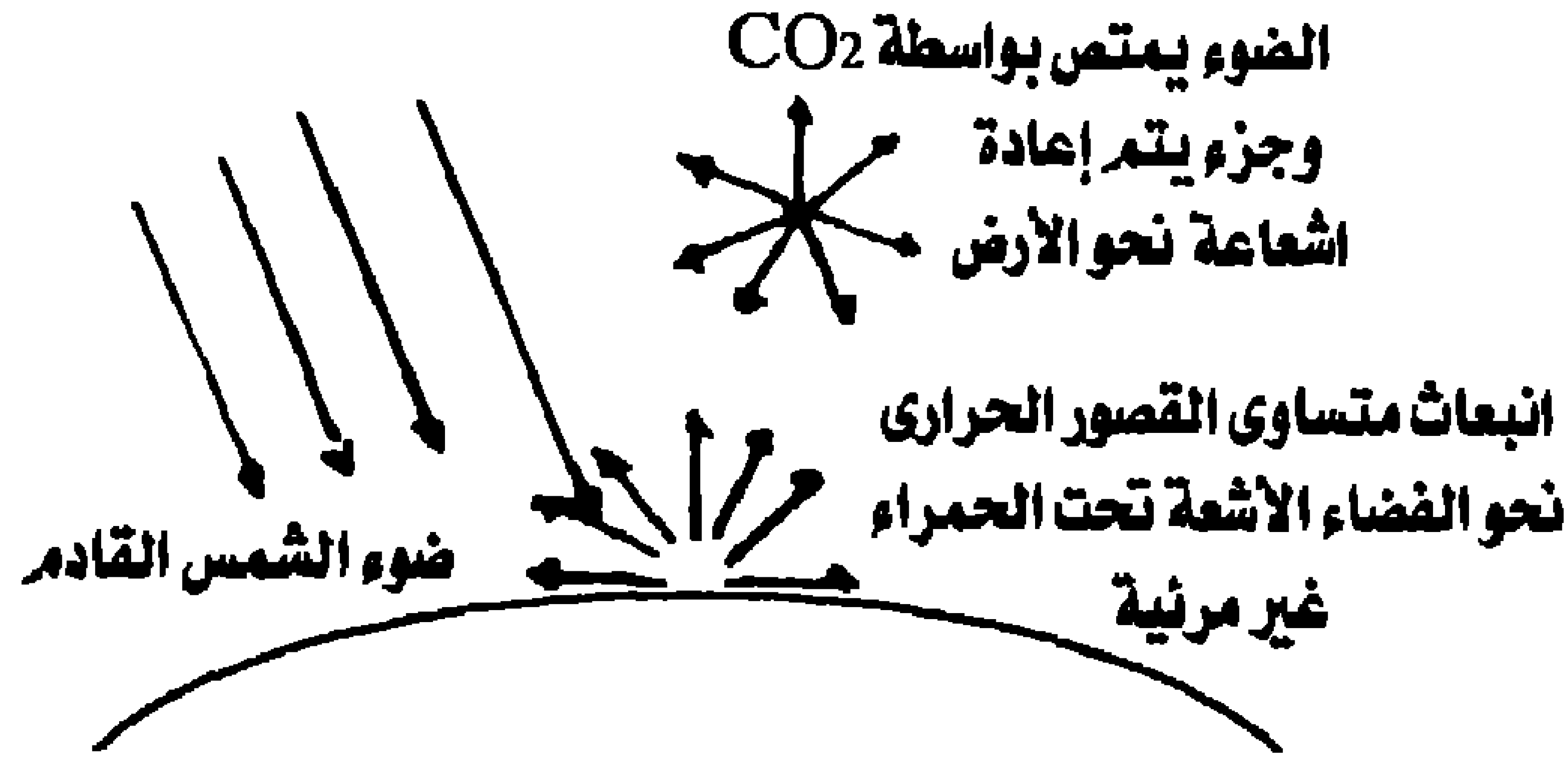
نوع المائع : (Types of fluid)

المجمع الشمسى يستخدم عادة سائل أو غاز كمائع انتقال. السوائل الأكثر استخداماً هى الماء أو محلول من الماء – الإيثيلين جليكول. الغاز المستخدم عادة هو الهواء.

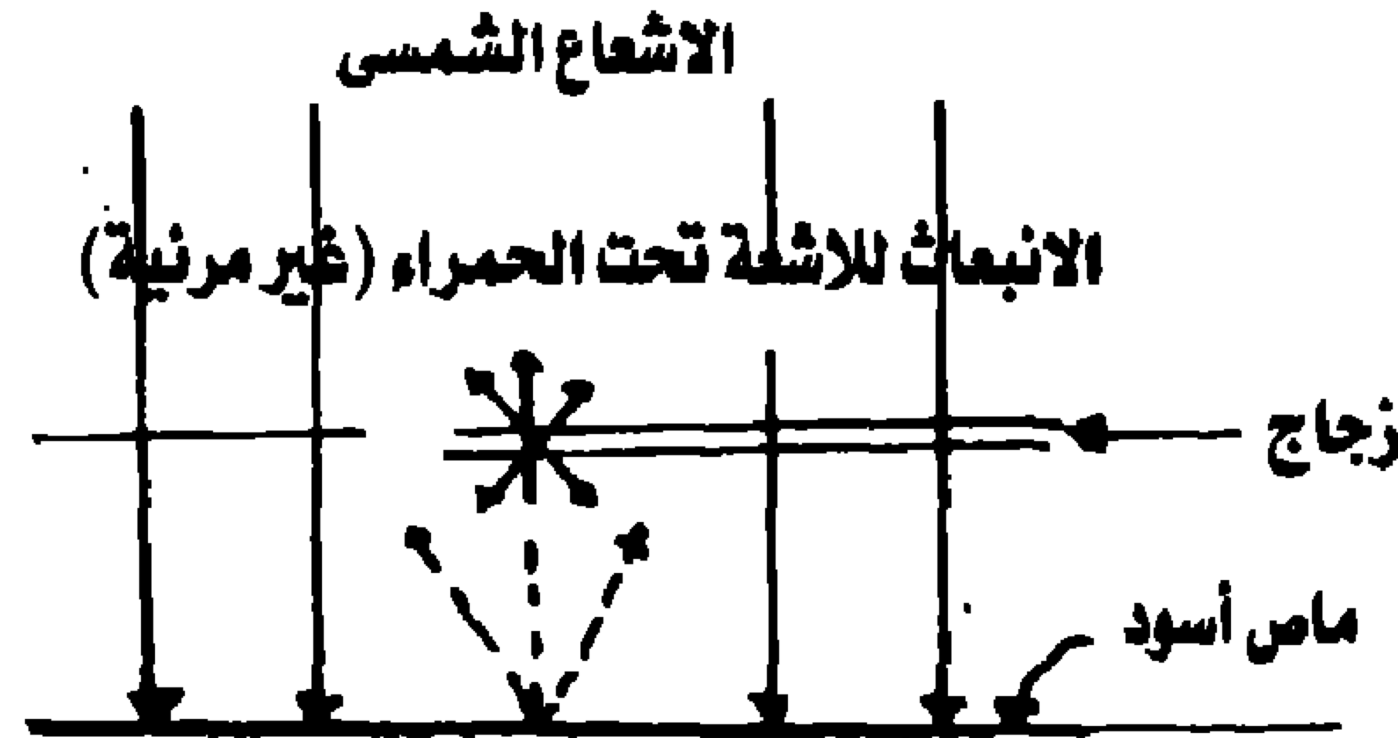
2- المبادئ الطبيعية لتحويل الطاقة الشمسية إلى حرارة:

العملية الأساسية المستخدمة حالياً لتحويل الحرارة هى تأثير البيت الزجاجى (الصوبة) (Green House effect). الاسم يأتى من البيوت الزجاجية التى يمكن فيها نمو النباتات الغير متوطنه Exotic فى الأجواء الباردة، خلال أفضل استخدام للمناخ من ضوء الشمس.

الشكل (1/5) يوضح كيفية أن درجة الحرارة على الأرض تتأثر بواسطة تأثير الصوبة. ضوء الشمس المرئى يتم امتصاصه على الأرض عند درجة حرارة 20^5م، فمثلاً، يبعث أشعة تحت الحمراء عند طول موجة حوالى (10µm) ولكن CO_2 فى الغلاف الجوى يمتص الضوء ذو طول الموجة هذه ويشعه جزء منه ثانياً نحو الأرض (CO_2 لا يمتص ضوء الشمس القادم الذى له طول موجه أقصر). لذلك فإن تأثير الصوبة يسبب تراكم الطاقة على الأرض.



شكل (1/5 a) تأثير الصوبه المتعلق بمحتوى CO_2 فى الغلاف الجوى



شكل (1/5 b) مبدأ تأثير الصوبه

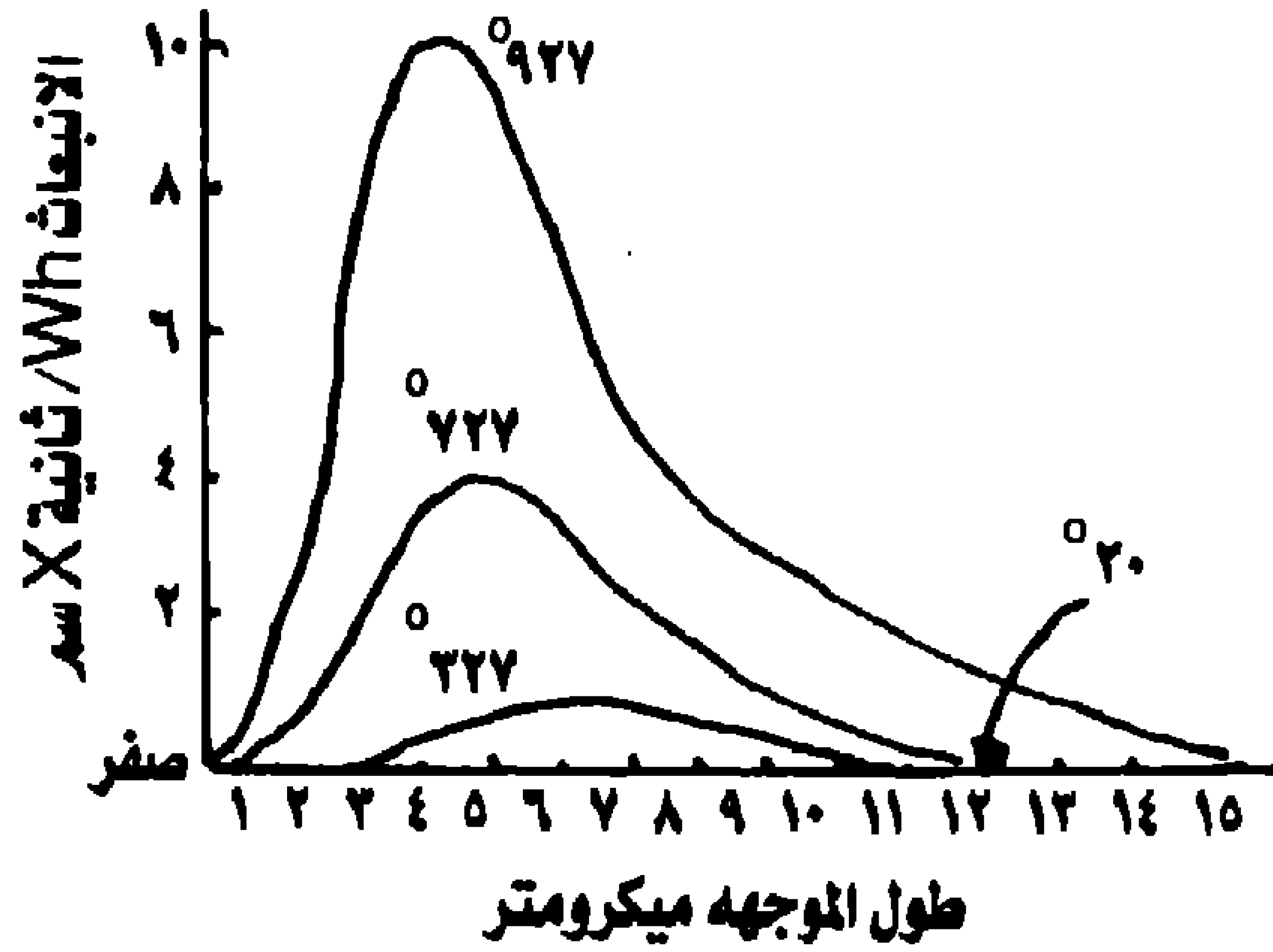
فى الشكل (1/5a) يمتص اللوح ذو الطلاء الأسود ضوء الشمس الساقط. فى الاتجاه المقابل، لوح مثبت له نافذة زجاجية عادية. عند زيادة درجة حرارة اللوح الأسود، فإنه يبعث جزء من الطاقة الحرارية فى شكل أشعة ضوئية تحت الحمراء (Infra Red Light)، اللوح الماص الأسود له خواص الجسم الأسود، الأجسام السوداء المثالية ليس لديها فقط أعلا معدل امتصاص ولكن كذلك أعلا معامل انبعاث (Emission) لكل أطوال الموجات للضوء. الانبعاث يزداد بزيادة درجة الحرارة، حيث يتبع قانون (T^4). الضوء الذى يعاد انبعاثه (Re-emitted) هو ذو طول موجه أقصر على التوالى ويقدر بقانون وين (Wein's Law)، الذى يمكن كتابته كالآتى:

λ_{max} T = constant = 2989µm Kelvin

T هى درجة حرارة السطح للجسم الأسود.

λ_{max} هى طول الموجة التى عندها يصل انبعاث الضوء إلى أقصاه.

بعض الأمثلة موضحة فى الشكل (2/5)



شكل (2/5) انبعاث الحجم الأسود عند مختلف درجات الحرارة

الشمس تبعث بالإشعاع مثل الجسم الأسود، الذى درجة حرارة سطحه 5700^{o}م، وهذا يقابل أقصى انبعاث لـ (0.5µm). الجسم الأسود عند درجة حرارة الغرفة يبعث إشعاع بأقصى عند حوالى (10µm)، والذى يكون خلال طيف الأشعة تحت الحمراء الغير مرئية. اللوح الزجاجى العادى المثبت فوق اللوح الأسود فى الصوبة الزجاجية له امتصاص طيفى يمكن رؤيته من الشكل (2/5). الشكل الجانبى للبلاستك يكون مشابها. لذلك، فإن الزجاج الذى يكون شفاف نسبياً للضوء المرئى يكون ماصاً للأشعة تحت الحمراء المنبعثة بواسطة اللوح الأسود والذى يمتصها ثانياً. يتم تراكم حرارة أكثر وأكثر فى هذه الطريقة فى اللوح الأسود، الذى تزداد درجة حرارته لذلك. يتم الوصول إلى حالة الاتزان عندما يتم التعادل تماماً للطاقة المكتسبة بامتصاص الضوء المرئى مع الفقد فى الطاقة خلال انبعاث الأشعة تحت الحمراء للوح الزجاجى. مع ارتفاع درجة الحرارة، تصبح طول الموجة لانبعاث الأشعة تحت الحمراء أقصر. عند 200^{o}م (473^{o}K) أقصى إشعاع منبعث عند حوالى (6µm)، مقارنة بـ (10µm) عند درجة حرارة الغرفة. أخيراً عند حوالى 500^{o}م (773^{o}K) معظم الإشعاع يتم انبعاثه عند (4µm)، الذى عند طول موجة يكون الزجاج شفاف جزئيا للأشعة تحت الحمراء.



شكل (3/5) طول موجه الأشعة تحت الحمراء

لذلك فإن تأثير الصوبة الزجاجية بكفاءة يكون ممكناً فقط عند درجة حرارة أقل من 500°م ولكن، بدون مصاحبة تركيز ضوء الشمس مع تأثير الصوبة الزجاجية، فإن الاتزان التى يتم الوصول إليه يكون أقل كثيراً، لأنه، عملياً، تكون درجة حرارة الاتزان يتم خفضها بالفقد الحرارى من اللوح الأسود بسبب التوصيل الحرارى والحمل الحرارى للهواء.

3- الوصف العام لمجمعات اللوح المستوى :

(General descriptionof flat-plate collectors)

يمكن تقسيم المجمعات الشمسية باللوح المستوى إلى قسمين طبقاً لنوع مائع الانتقال الحرارى المستخدم.

المجمعات بتسخين السائل: هذه تستخدم لتسخين الماء والمحاليل المائية التى لا تتجمد وأحياناً للسوائل الغير مائية للانتقال الحرارى. تستخدم كذلك المجمعات بتسخين الهواء أو الغاز مثل سخانات الهواء الشمسية. الفرق الرئيسى بين النوعين هو تصميم مرور مائع الانتقال الحرارى. معظم مجمعات اللوح المستوى لها خمسة مكونات رئيسية كالآتى:

1- غطاء شفاف والذى يمكن أن يكون لوح أو أثنين من الزجاج أو من طبقات البلاستك الناقل للإشعاع.

2- أنابيب، زعانف (fins)، قنوات متصلة بلوح المجمع، والتى تحمل الماء، الهواء أو سائل آخر.

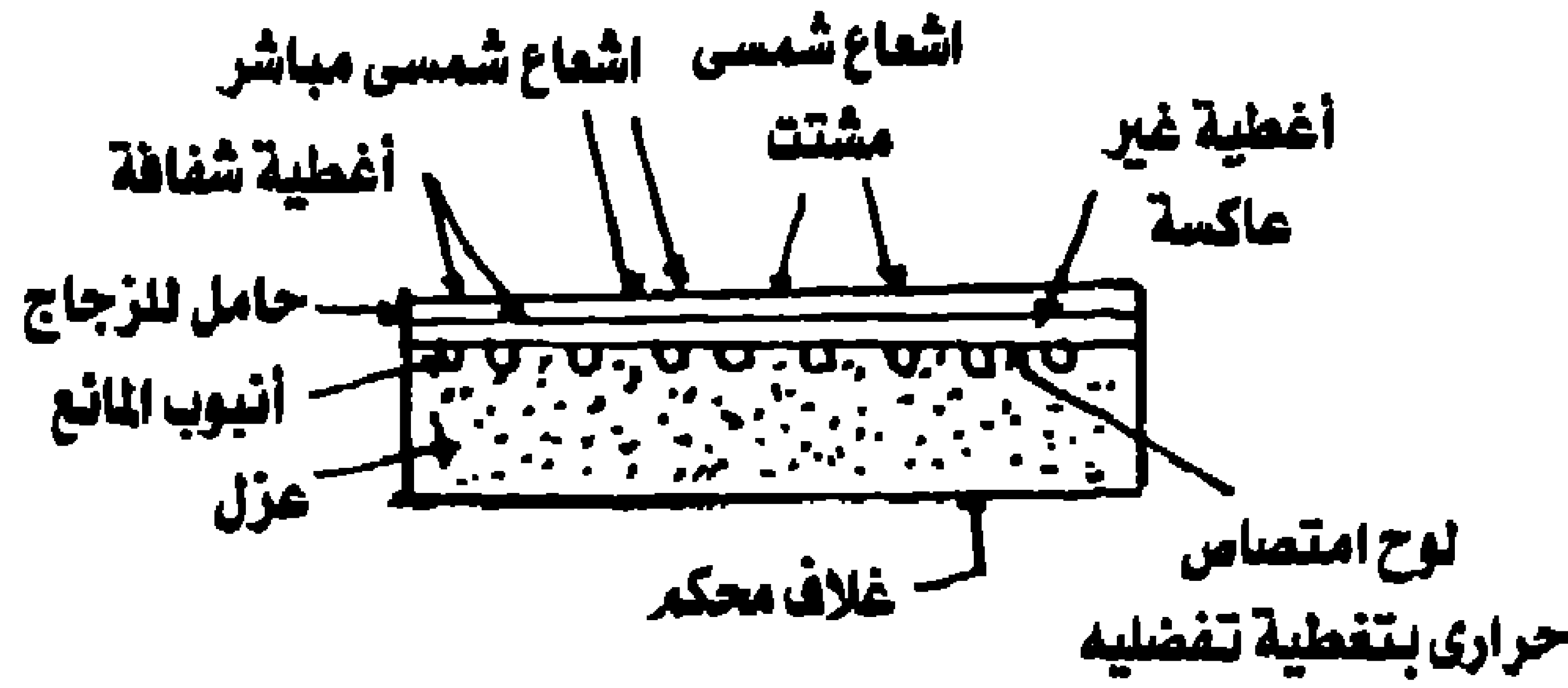
3- اللوح الماص (The absorber plate) عادة يكون معدنى مع السطح الأسود، رغم استخدام أنواع أخرى من المواد، وخاصة مع سخانات الهواء.

4- العزل: الذى يمكن توفيره عند القاع والأجناب لخفض الفقد فى الحرارة.

5- الغلاف أو الوعاء الذى يحتوى المكونات الأخرى ويحميها من التأثيرات الجوية.

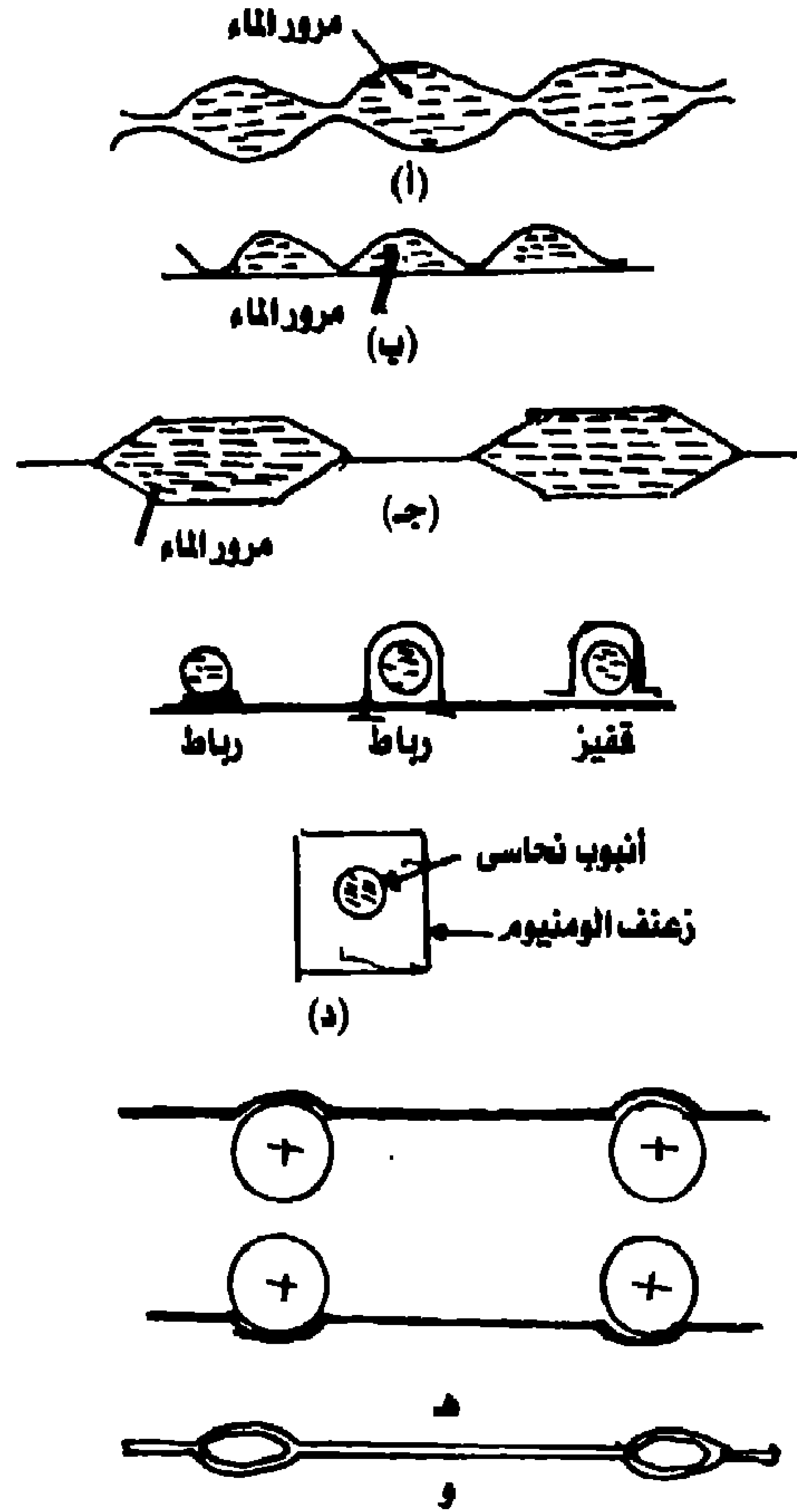
أ- نموذج للجمع السائل: (Typical liquid collector)

الشكل (4/5) هو تمثيل نموذجى لمجمع شمسى باللوح المستوى (نوع اللوح والأنبوب). وهو يتكون أساساً من سطح مستوى ذو قوة امتصاص عالية للإشعاع الشمسى، ويسمى سطح الامتصاص. النموذجى هو لوح معدنى، عادة من النحاس، أو الصلب، أو الألومنيوم والأنابيب من النحاس فى اتصال حرارى مع الألواح، تلك هى المواد الأكثر استخداماً.



شكل (4/5) نموذج لمجمع شمسى باللوح المستوى

لوح الماص يصنع عادة من شريحة معدنية بسمك 1-2 مليمتر، بينما المواسير التى هىكذلك معدنية، يتراوح قطرها من 1 إلى 1.5 سنتيمتر. وهى تكون ملحومة بلحام أساسه القصدير (Soldered) أو بلحام أساسه النحاس (Bruzed) أو مثبت (Clamped) عند القاع (فى بعض الحالات عند القمة) للوح الامتصاص حيث التباعد يتراوح بين 5 إلى 15سم. فى بعض التصميمات، تكون الأنابيب كذلك فى خط مستقيم ومكملة للوح الماص. بالنسبة للوح الماص، المتاح كثيراً هو الألواح المجلفنة المموجة (Corrugated) والمتاحة فى كل مكان، الشكل (5/5) يبين طريقتين التى استخدمت فيهما.



الشكل (5/5 أ، ب، ج، د، هـــ، و) مقطع خلال ألواح الجمع

استخدام المشع الإطارى (Panel Radiators) التقليدى القياسى الموضح فى الشكل (جـــ) هو واحد من أبسط التطبيقات العملية. طريقة الربط والتثبيت للأنابيب مع اللوح المستوى أو المموج موضحه فى الشكل (د) ، (هـــ) بينما الشكل (و) هو أنبوب فى شريط أو تصميم رباط اللفيفة، الذى فيه المواسير تكون مكونه فى اللوح، مؤكداً الرباط الحرارى الجيد بين اللوح والأنبوب.

الحرارة تنقل من اللوح الماص إلى نقطة الاستخدام بالتدوير للسائل (عادة الماء) عبر السطح الذى تم تسخينه بأشعة الشمس. يتم وضع عزل حرارى بسمك 5 إلى 10سم خلف اللوح الماص لمنع الفقد الحرارى من مؤخرة السطح.مادة العزل عادة تكون من الصوف الزجاجي أو من شعيرات المواد الغير عضوية المعدنية (Mineral wool) أو من الشعيرات الزجاجية (Fiber glass) المقاومة للحرارة.

الأغطية الأمامية هى عموما زجاج (يمكن أن يكون واحدا أو أكثر) الشفاف للإشعاع الشمسى القادم ومعتم (Opaque) بالنسبة لإعادة الإشعاع (Re-radiation)

للأشعة تحت الحمراء من الامتصاص. الأغطية الزجاجية تعمل درع حمل حرارى (Convection shield) لخفض الفقد من اللوح الماص أسفلها. يستخدم الزجاج عموماً للأغطية الشفافة ولكن بعض الطبقات من البلاستك يمكن أن تكون كافية. الزجاج هو المادة المحببه بكثرة. السمك من 3 إلى 4مليمتر هو المستخدم عادة.

عملياً هو استخدام غطاء واحد أو اثنين مع فاصل محدد من 1.5 - 3سم. مميزات الزجاج الثانى الذى يتم إضافته فوق الأول هى:

1- الفقد بسبب الحمل الحرارى للهواء يتم خفضها. وهذا مهم فى المناطق حيث تكثر الرياح.

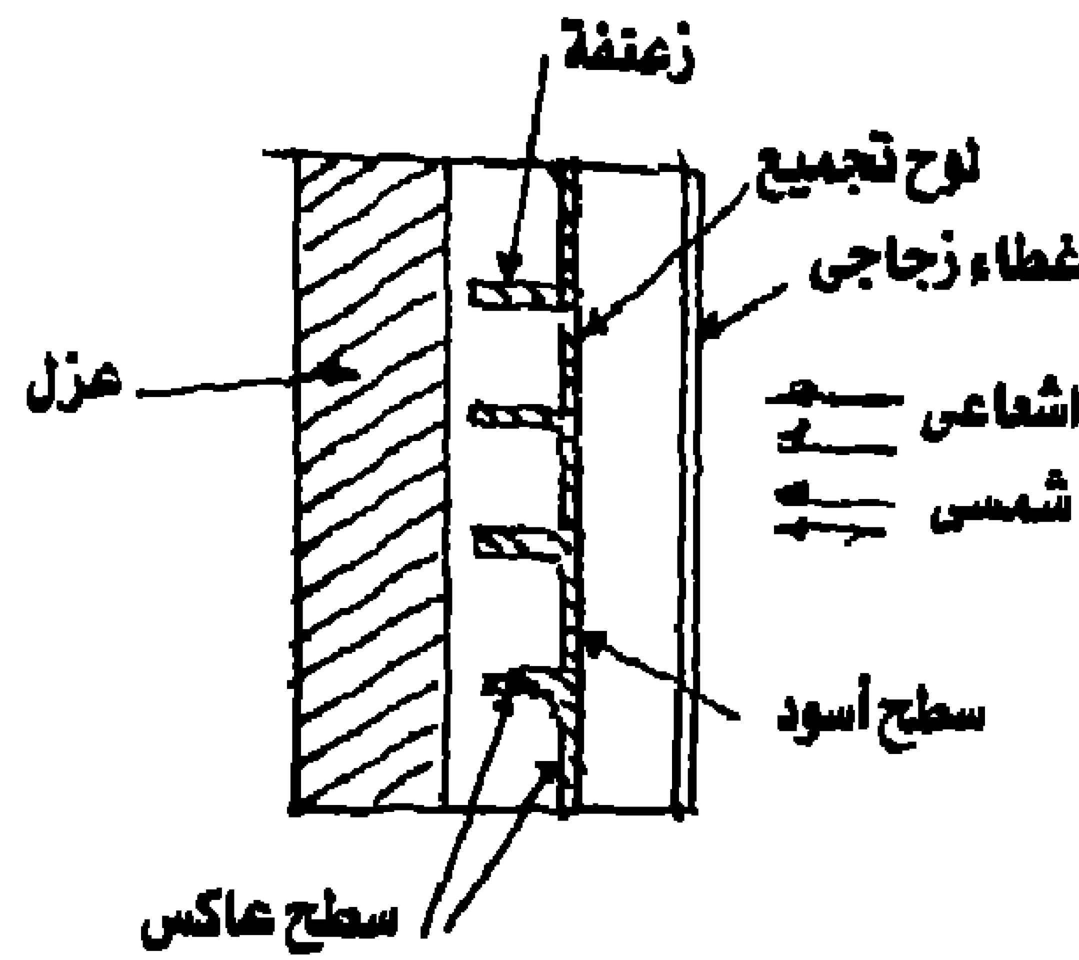
2- الفقد الإشعاعى فى الطيف تحت الحمراء يتم خفضه بنسبة 25%، ذلك لأن 50% التى تنبعث إلى الخارج من اللوح الزجاجى الأول يتم إعادة إشعاعها (Back Radiated).

لذلك فإنه لا يجوز استخدام أكثر من لوحين من الزجاج. وهذا يعود إلى حقيقة أن كل لوح يعكس حوالى 15% من ضوء الشمس القادم. بعض البلاستك الصقيل الشفاف (Plastic glazings) تم التوصيه باستخدامه. صوف الخشب المعدنى (Slag wood)، الصوف الزجاجى، فوم البولى يوريثين، الكلأ المجفف فى أكياس البوليثين (Poly thene bags) (لخروج الرطوبة) تلك مواد مناسبة لعزل الأجناب والقاع للمجمع (Collector). صندوق المجمع يحمل كل المكونات ويوفر الحماية من العوامل الجوية. بالنسبة لمجارى الماء (Water streams) فإن اللوح الماص يمكن أن يكون أى معدن، أو بلاستك أو مطاط الذى يحتوى قنوات المياه، بينما لنظم الهواء يعمل الفراغ فوق أو أسفل لوح المجمع كماسورة توصيل. تشطيب السطح للوح الماص يمكن أن يكون طلاء مستوى أسود مع استخدام مادة البطانة المناسبة. طبقة البطانة يفضل أن تكون رقيقة ذلك لأن الطبقة السميكة تحت الطلاء سوف تزيد المقاومة للانتقال الحرارى. البطانة أو الطلاء الأولى (Primer) يجب أن يكون من نوع الحفر أو النمش الذاتى (Self. Ething type). إذا كانت البطانة ليست من نوع الحفر أو النمش الذاتى، فإن تكرار التمدد الحرارى والانكماش للوح يمكن أن يسبب التسييل للطلاء بعد عام أو أقل أو أكثر. توجد أنواع عديدة من التشطيبات الكيماوية أو المدعمة. الماصات من الطلاءات السوداء هى المفضلة ذلك لأنها أرخص كثيراً. السائل الذى يتم تسخينه هو الماء عادة. ولكن أحياناً يستخدم خليط من الماء والإيثيلين جليكول إذا كانت درجة الحرارة العادية أقل من صفر درجة مئوية يحتمل مقابلتها.

الأبعاد للمجمعات النموذجية هى 2 متر × 1متر × 15 سم.

ب- مجمع الهواء النموذجى : (Typical Air collector)

الشكل (6/5) يبين مخطط لمجمع اللوح المستوى حيث يتم تسخين تيار الهواء بواسطة الجانب الخلفى للوح المجمع. الزعانف المتصلة باللوح تزيد من سطح الالتصاق. الجانب الخلفى للمجمع يكون معزولا بشدة بواسطة الصوف الزجاجى أو أى مادة أخرى (التحليل التفصيلى لمجمعات الهواء الشمسية موضح فى الفصل السادس). أفضل توجيه للمجمع، للتسخين فقط، هو مواجهة الجنوب بزاوية ميل نحو الأفقى تساوى خط العرض + 15^{o} ($S = \phi + 15^{o}$).



شكل (6/5) مخطط لمجمع السطح المستوى حيث يتم تسخين الهواء بواسطة الجانب الأسود للوح المجمع

التغير الكثير فى تصميم المجمعات لتسخين الهواء بالطاقة الشمسية موضح فى الأشكال (6/2)، (6/3) الفصل السادس، مجمعات التسخين الشمسى للهواء. يمكن تمرير الهواء بالالتصاق مع سطح أسود يمتص الطاقة الشمسية مثل الألواح أو المواسير المزودة بزعانف كما ذكر سابقا، الألواح المموجة أو الخشنة من مختلف المواد، عدة طبقات من الشباك المعدنية والألواح الزجاجية المتطابقة. التدفق يمكن أن يكون مستقيما فوق، أسفل، أو على كلا جانبى اللوح الماص، أو خلال مادة امتصاص مسامية.

اللوح المستوى هو وسيلة بسيطة ومؤثرة لتجميع الطاقة الشمسية للاستخدام الذى يتطلب حرارة عند درجة حرارة أقل من 100^{o}م. تلك المجمعات استخدمت بنجاح لتوفير المياه الساخنة للاستخدام المنزلى، التدفئة، تكييف الهواء، توليد الطاقة، ضخ المياه، وطهى الطعام وأغراض أخرى.

مميزات مجمعات السطح المستوى مقارنة بمجمعات التركيز (Focusing) هى كالآتى:

1- لا تحتوى على آلية تتبع معقدة.

2- الإنشاء بسيط نسبياً.

3- يمكن أن تستخدم كلا من المكونات المباشرة والمشتتة للإشعاع الشمسى المتاح.

4- سهولة التصنيع.

المميزات مفيدة بدرجة الحرارة (حوالى 100^oم) وحقيقة أن مساحة التبادل الحرارى للمجمع يجب أن تساوى مساحة فتحه المجمع.

الفقد الحرارى وكفاءة مجمع اللوح المستوى :

Thermal Losses and Efficiency of Flat-Plate Collector

كفاءة المجمع الشمسى يتم وصفها بميزان الطاقة الذى يعين توزيع الطاقة الشمسية الساقطة إلى طاقة مفيدة مكتسبة ومختلف الفقد. الفقد الحرارى يمكن فصله إلى ثلاث مكونات:

1- الفقد بالتوصيل (Conduction Losses)

التوصيل خلال قاع وأجناب المجمع عادة يتم إهماله إذا كان قاع المجمع وأجنابه معزولين جيداً. قيمة المعامل الكلى للانتقال الحرارى إذا قلت عن ($0.69\ W/m^2K^o$) تقترح لخفض فقد القاع.

2- الفقد بالحمل الحرارى (Convection Losses)

يحدث الفقد بالحمل الحرارى من اللوح الماص إلى المجال المحيط خلال تبادل الحمل الحرارى الفورى بين الهواء المحتجز فى كل منطقة عزل وحدود كل منطقة – أغطية المجمع. فى عدم وجود الرياح، يكون الفقد الخارجي بالحمل الحرارى من الغطاء الخارجى بواسطة آلية الحمل الحرارى الطبيعى (Natural convection)، ولكن حتى فى حالة الرياح المنخفضة، يحدث الحمل الحرارى عنوه وزيادة كبيرة فى الفقد. (الحمل الحرارى الطبيعى يحدث بدون سريان خارجى مفروض بينما الحمل الحرارى عنوه يحدث فى وجود سريان خارجى). تقدير الفاصل الهوائى بين أغطية المجمع عند 1.25 - 2.5 سم يقلل الفقد الداخلى للحمل الحرارى إلى أدنى مستوى ممكن.

فقد الحمل الحرارى بين ألواح الزجاج يمكن تثبيطه فى حالة وضع منشأ فى شكل خلية ثقوب قرص عسل الحل بين الماص ولوح النافذة الخارجى. ولكن، بالإضافة إلى الزيادة فى التكلفة، فإن المنشأ المثقب يعكس كذلك جزء من الإشعاع القادم، بذلك منع الإشعاع الشمس من الوصول إلى اللوح الماص. كذلك فإن المنشأ المثقب فى شكل الخلية يزيد من التوصيل الحرارى بين الماص والهواء الخارجى. قرص عسل النحل المثقب الذى ينقل الإشعاع الشمسى، يكون معتماً بالنسبة لطيف الأشعة تحت الحمراء

وله توصيل حرارى منخفض يمكن أن يكون مثاليا للمجمع الشمسى. التفريغ للفراغ بين الماص والغطاء الخارجى تم اقتراحه لخفض الحمل الحرارى الداخلى والتوصيل الحرارى، ولكن تكاليف التجهيزات المضافة والصيانة للتفريغ تكون كبيرة.

3- الفقد بالإشعاع : (Radiation Losses)

الفقد بالإشعاع من الماص (Absorber) يمكن خفضه باستخدام طلاء ماص طيفى انتقائى. مثل هذه الطلاءات لها امتصاص عالى حوالى 0.9 فى الطيف الشمسى وانبعاث منخفض، عادة فى حدود 0.1، فى طيف الأشعة تحت الحمراء الذى فيه يشع الماص نحو البيئة المحيطة. الطلاءات الانتقائية لماص، لذلك، تقلل من الفقد الحرارى وتزيد من كفاءة الجامع (Collector). الطلاءات السوداء الانتقائية متاحة تجارياً من مصادر قليلة، ولكن سعرها، وثباتها وخواص اتجاه الإشعاع يتم مراجعتها قبل الاستخدام على مستوى كبير.

فى حالات الاستقرار، فإن الحرارة المفيدة والتى يستقبلها المجمع تساوى الطاقة الممتصة على سطح المعدن ناقص الفقد الحرارى من السطح مباشرة وبطريقة غير مباشرة نحو المجال المحيط. هذا المبدأ يمكن توضيحه فى العلاقة

(1) $Qu = Ac [HR (T , \alpha) - U_L (T_P - ta)$

حيث:

Q = الطاقة المفيدة التى استقبلها المجمع، بالوات W، كيلو كالورى/الساعة

Ac = مساحة المجمع بالمتر المربع.

HR = الطاقة الشمسية التى استقبلت على السطح العلوى لمنشأ المجمع الشمس المائل، وات /مربع (كيلو كالورى/الساعة. متر مربع).

H = معدل الإشعاع الساقط أوالا شعاع المشتت على وحدة المساحة لأى توجيه.

R = معامل لتحويل الشعاع أو الإشعاع المشتت إلى ذلك على المجمع المستوى.

[الشعاع أو الإشعاع المشتت يتم اعتبارهم كل على حدة $(\alpha\text{-t})$ للشعاع (Beam radiation) يتم تحديدها من زاوية السقوط الحقيقية، $(\alpha\text{-t})$ للشعاع المشتت يمكن اعتبارها مثل تلك للشعاع عند زاوية سقوط 60^{o}م. الرمز (HB) يستخدم لتمثيل مجموع (Hd Rd) (HbRb)].

t = هو جزء الإشعاع الشمسى القادم الذى يصل السطح الماص، الانتقالية (بدون أبعاد)

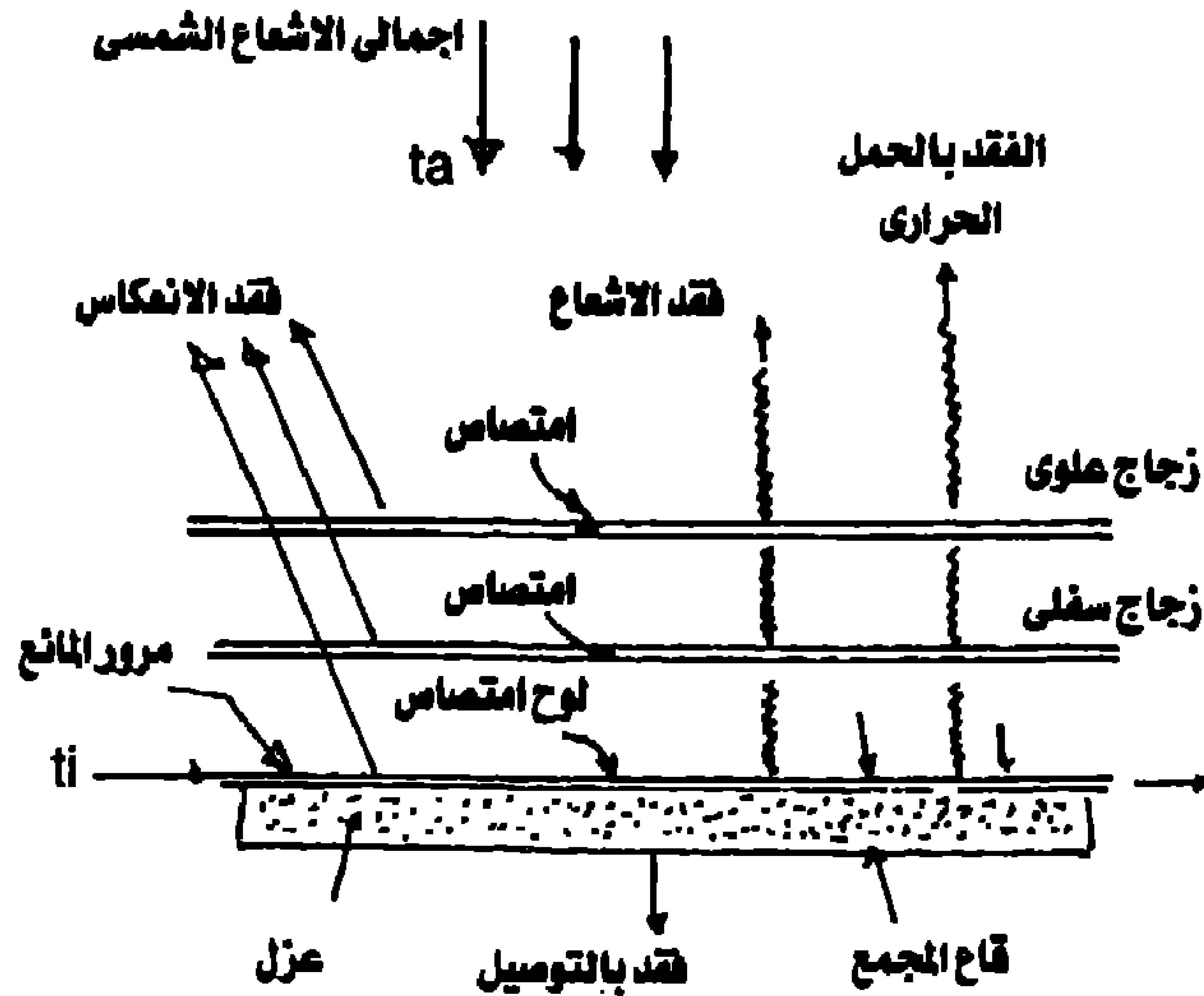
T = جزء من الطاقة الشمسية التى تصل إلى السطح وتمتص، الامتصاصية (بدون أبعاد)

(α-t) = هى ناتج الانتقال – الامتصاص المؤثر لنظام التغطية لكل من الشعاع والإشعاع المشتت (Beam and diffuse radiation).

U_L= معامل الفقد الكلى للحرارة. معدل انتقال الحرارة إلى المجال المحيط لكل متر مربع من سطح المجمع المعرض لكل درجة حرارة مئوية واحدة للفرق بين متوسط درجة حرارة سطح المجمع ودرجة حرارة الهواء المحيط، W/m2°م أى/ (كيلو كالورى/الساعة متر مربع °م).

tp = متوسط درجة حرارة السطح العلوى للوح الماص °م.

مخطط توضيحى للمصطلحات فى تلك العلاقات موضح فى الشكل 7/5.



شكل (7/5) عمليات الانتقال الحرارى فى مجمع اللوح المستوى

الطاقة الممتصة = Ac [H_T (T , α) e

الفقد الحرارى المؤثر = Ac U_L (Tp , tα)

يهدف ارتفاع كفاءة المجمع الشمسى من ناحية الاستخدام الاقتصادى، فإنه يتم اختيار عوامل التصميم والتشغيل التى تزيد من قيمة (HR) و (t, α) فى المعادلة رقم (1) والتى تقلل من قيمة (Tp-ta) U_L. زيادة امتصاص الطاقة فى سطح المعدن وقلة الفقد الحرارى من السطح، تعنى زيادة الطاقة المفيدة فى حالة استخدام لوح ماص غير مزجج فإن معامل الفقد الحرارى إلى الجو (U_L)، من 30 إلى 70وات/متر مربع°م (25 - 50 كيلو كالورى/الساعة × متر مربع°م) يكون كبيراً كذلك بحيث أن درجة حرارة

الماص من 15 - 30°م أعلا من درجة الحرارة العادية هى أقصى ما يمكن الحصول عليه تحت الإشعاع الشمسى الكامل لـ 1000وات/المتر المربع (860 كيلو كالورى/الساعة × متر مربع). فى هذه الحالات، لا يتم الحصول على حرارة مفيدة من المجمع ذلك لأن الفقد الحرارى يكون كبيراً مثل ملاحظة الحرارة الشمسية. عند تدوير سائل خلال المجمع، فإن الخرج من الحرارة المفيدة يتطلب استقبال حرارة مطرودة منخفضة. فى حالة عدم وجود استخدام لدرجة الحرارة المنخفضة، كما فى حالة تسخين حمامات السباحة، فإن الفقد الحرارى يجب خفضه فى هذه الحالة.

لخفض الفقد فى معدل الإشعاع. والحمل الحرارى، كما سبق توضيحه، فإنه يتم وضع واحد أو أكثر من الأسطح الشفافة مثل الزجاج فوق سطح ماص (Absorber surface) طبقة واحدة من الزجاج يمكن أن تنقل ما يزيد عن 92% من الإشعاع الشمسى الساقط عليها، وفى نفس الوقت إحداث الخفض الكبير فى معامل الفقد الحرارى (U_L). هذا الخفض يعود إلى إعاقة الفقد بالحمل الحرارى من خلال تدخل واعتراض طبقة هواء ساكنة نسبياً بين اللوح الماص والزجاج، وامتصاص الإشعاع الحرارى طويل الموجة المنبعث بواسطة سطح الماص المعدنى الساخن. معامل الفقد الحرارى المجمع يمكن خفضه إلى 5-10 وات/المتر المربع°م (4.3 إلى 86 كيلو كالورى/الساعة × متر مربع°م) باستخدام بغطاء زجاجى واحد. فوائد مشابهة يمكن تحقيقها باستخدام مواد بلاستك معينة شفافه.

كذلك يمكن الخفض الإضافى للفقد الحرارى باستخدام غطاء ثانى شفاف مع وجود فاصل فراغ للهواء بين السطحين. عندئذ يكون موجود اثنين من حواجز الحمل الحرارى، وكذلك سطحين لإعاقة معامل الفقد الإشعاعى فى المجال 4وات/متر مربع×°م (3.85 كيلو كالورى/الساعة×المتر المربع × °م) يمكن عندئذ تحقيقه.

يمكن الخفض فى الفقد الإشعاعى بتقنيات أخرى، مثل خفض خواص الانبعاث الإشعاعى للوح الماص وذلك بانعكاسها إلى أسفل من غطاء الزجاج السفلى باستخدام طلاء (أو غطاء) عاكس للأشعة تحت الحمراء على الزجاج. طبقة رقيقة جداً وذات شفافية للضوء من أكسيد القصدير (Tin Oxide) أو من (Indium Oxide) المرسبه على الزجاج تعكس الإشعاع الحرارى ثانياً نحو اللوح الماص. هذا الغطاء أو الطلاء يمتص بعض من الإشعاع الشمسى، ولكن، الفقد فى الخفض الحرارى يتم معادلته بخفض مدخلات الطاقة الشمسية إلى اللوح الماص.

المناقشة السابقة كانت تتعلق بطريق خفض معامل الفقد الحرارى (U_L). بعمل ذلك، فإنه يتم خفض إجمالى الفقد الحرارى إلى أدناه مع زيادة كفاءة المجمع. أنه من الواضح

من المعادلة رقم (1) أن الفقد ينخفض كذلك مع خفض الفرق بين متوسط درجات حرارة اللوح ودرجة حرارة الهواء. درجة حرارة الهواء العادية هى عامل يصعب التحكم فيه، ولكن حقيقة أنها تتغير مع الوقت وطبقاً للمكان الطبوغرافى يعنى أن كفاءة المجمع تعتمد كذلك على تلك العوامل. كذلك فإنه من الواضح، أن المجمع يكون ذو كفاءة أكثر على درجات حرارة منخفضة للوح مقارنة بدرجات الحرارة العالية. ولكن درجة حرارة اللوح تعتمد على درجة حرارة السائل الذى يتم تدويره بالالتصاق مع اللوح، ومعدل تدوير السائل ونوع السائل ودرجة حرارة السائل تتوقف على ظروف أخرى فى نظام الاستخدام الحرارى، بينما العوامل الأخرى فى الشكل (7/5) تتوقف على تصميم المجمع، وظروف التشغيل، مدخلات الطاقة الشمسية، درجة حرارة الجو.

معادلة ميزان الطاقة: (Energ balance equation)

ميزان الطاقة على كل الجامع يمكن كتابته كالآتى:

(2) $A_C [(HR (\tau\alpha) b + (HR (T\alpha)d)] = Q_u + Q_L + Q_S$

حيث :

Q_u = معدل انتقال الحرارة المفيدة إلى السائل العامل فى المبادل الحرارى.

Q_L = معدل الفقد فى الطاقة من الجامع إلى المجال المحيط بالإشعاع، بالحمل الحرارى، والتوصيل خلال الحوامل (Supports) للوح الماص وهكذا. الفقد بسبب الانعكاس من الأغطية يكون مشمولاً فى المصطلح (tα) و

Q_S = معدل تخزين الطاقة فى المجمع.

ميزان الطاقة على الجامع ذو السطح المستوى الذى يعمل عند حالة استقرار يمكن كتابته كالآتى:

$H_T A_C (T\alpha)S = Q_u + Q_L$

حيث:

H_T = إجمالى الإشعاع الشمس على الجامع

A_C = مساحة فتحى الجامع

Q_u = معدل الحرارة المفيدة التى استقبلها الجامع

Q_L = معدل الفقد الحرارى من الجامع

(tα) = مجموع الانتقال الامتصاص المؤثر

عموماً كفاءة جامعات اللوح المستوى يمكن تحسينها بطريقتين:

1- انتقال الطاقة خلال الجامع إلى السائل العامل يمكن زيادتها، من خلال تحسين:

أ- الانتقال (فى مجال طيفى تقريباً من 0.4 إلى 1.9 ميكروميتر) (0.4-1.9µm) لألواح الأغطية الشفافة (من الزجاج أو من البلاستك).

ب- امتصاص اللوح الماص للإشعاع الشمسى الساقط (الامتصاص تقريبا 1.0 يتم الحصول عليه بواسطة الطلاء الأسود المناسب) و/أو.

جـ- معاملات الانتقال الحرارى من السطح الماص إلى السائل. هذه تتوقف على مقاومة التوصيل الحرارى خلال لوح الماص (التوصيل الحرارى)، سمك اللوح وعلى طبيعة الحمل الحرارى فى قنوات التدفق، مثل المناخ وسواء كان التدفق مضطرب أو سلس، وخشونة السطح.

2- خفض الفقد الحرارى من الجامع إلى المجال المحيط بخفض الفقد بالتوصيل، الحمل الحرارى، الانعكاس.

أ- الفقد بالتوصيل، ذلك الذى يحدث خلال قاع وأجناب الجامع يمكن خفضه باستخدام طبقة سميكة من العزل الحرارى. المشكلة الرئيسية فى الأمام، حيث يتم توصيل الحرارة من لوح الماص خلال طبقة الهواء (S) بين اللوح والأغطية الشفافة ثم إلى الخارج نحو الهواء الجوى. زيادة سمك فواصل الهواء يقلل الفقد إلى حد معين، حيث ما زاد عن ذلك يسمح بالحمل الحرارى الطبيعى بشكل كبير - الحمل الحرارى الطبيعى ينقل الحرارة عند معدلات أعلا مقارنة بالحمل الحرارى، هذا يؤدى إلى زيادة الفقد الحرارى. على العكس، يمكن استخدام العديد من الأجناب (Panes) لخلق عدد من فواصل الهواء الضيقة. ولكن هذا يقلل انتقال الطاقة الشمسية إلى الماص. إن جامع الجانب لواحد (Single pane collector) هو الأكثر كفاءة عندما تكون درجة حرارة الماص ليست أعلا كثيراً عن تلك للوح الغطاء الخارجى ولكن يصبح سريعاً أقل كفاءة لأن فرق درجة الحرارة هذا ينخفض. لذلك، فإن مجمعات درجة الحرارة العالية تتطلب اثنين من الأغطية الشفافة.

ب- الفقد بالحمل الحرارى ينفصل إلى الفقد الداخلى بالحمل الحرارى من اللوح الماص إلى جانب الغطاء الخارجى، والفقد الخارجى من جانب الغطاء الخارجى إلى الهواء الجوى. فى عدم وجود الرياح، يكون الفقد الخارجى بالحمل الحرارى بسبب الحمر الحرارى الطبيعى. حتى أن الرياح الضعيفة، تسيطر على الحمل الحرارى عند حدوثها. رغم أنه يتم استخدام وسائل لخفض فقد الحمل الحرارى الخارجى، فإنه يكون من المفيد جداً خفض الفقد الداخلى، وبذا خفض درجة حرارة لوح الغطاء الخارجى. بينما المعلومة المتاحة عن الحمل الحرارى الطبيعى فى ثغرات الهواء العمودية ليست

حاسمة، فإن الحمل الحرارى يكون صغيراً جداً ومقارن بتأثيره للتوصيل لأرقام رينولد الصغيرة، ويصبح أكبر كثيراً للقيم الأكبر لتلك الأرقام. كذلك فإن طبيعة الحمل الحرارى تتوقف على حالات التخوم المحددة والاعتبارات الهندسية والسياج (Enclosure). بجانب صيانة ثغرات الهواء الضيقة لخفض الحمل الحرارى، يمكن وضع منشأ مسامى بين الماص ولوح الغطاء. المشاكل الرئيسية المصاحبة لاستخدام المنشآت المسامية هى (1) أنها تعكس جزء من الإشعاع الشمسى، وبذا منعها من الوصول إلى اللوح الماص (2) زيادة التوصيل الحرارى للفضاء بين الماص ولوح الغطاء، و (3) إضافة إلى تكاليف الجامع. تفريغ الفضاء بين الماص ولوح الغطاء يبعد عملياً الفقد بالحمل الحرارى وهذا طبيعى يمكن عمله فقط بواسطة مجمعات أنبوبية.

3- الفقد الإشعاعى: (Radiative losses)

الفقد الإشعاعى من الماص الطافى (Absorber) إلى المجال المحيط يمكن خفضه بطبقة تغطية ذات الانتقاء الطيفى على لوح الماص الطافى. طبقات التغطية أو الطلاء هذه لها قوة امتصاص عالية فى الطيف الشمسى، ولكن لها انبعاثية منخفضة كثيرات عادة فى حدود واحد على عشرة فى طيف تحت الحمراء، الذى فيه معظم ألواح الماص الطافى تشع. الماص الطافى الانتقائى (The Selective absorbers) عندئذ يقلل الفقد الحرارى ويزيد من كفاءة الجامع (Collector).

الإشعاع الحرارى المنبعث بواسطة اللوح الماص للطاقة يمكن كذلك أن يقل بانعكاسه إلى أسفل من الغطاء الزجاجى السفلى باستخدام طبقة تغطية (أو طلاء) عاكس للأشعة تحت الحمراء على الزجاج.طبقة رقيقة جداً شفافة من أكسيد القصدير أو أكسيد الإنديام (Indium) التى تم ترسيبها فوق الزجاج سوف تقلل الفقد بالإشعاع وذلك بعكسه ثانياً نحو اللوح الماص للطاقة كما سبق ذكره.

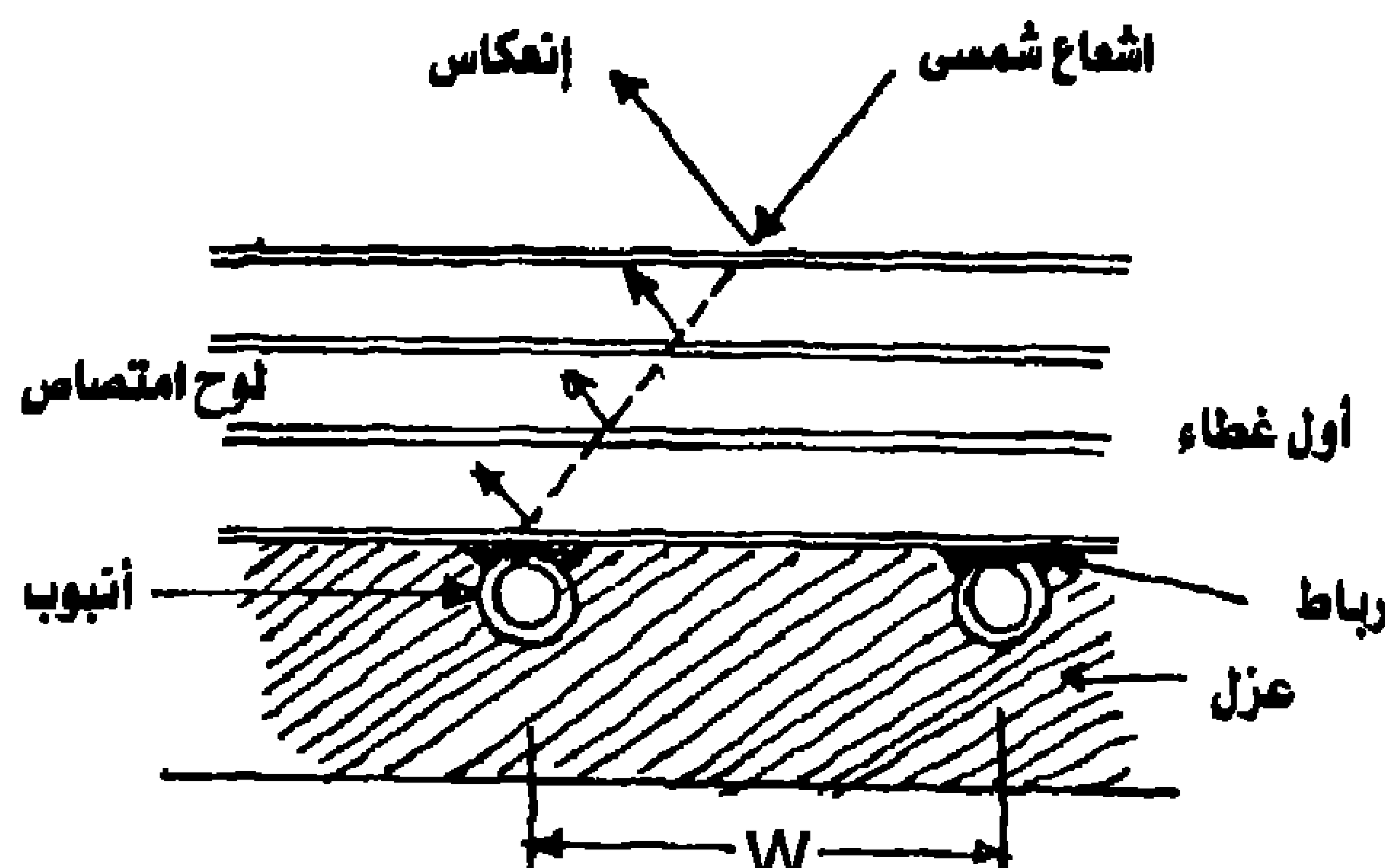
هذا الطلاء (أو طبقة التغطية) يمتص جزء صغير من الإشعاع الشمسى، ولكن، لذلك فإن الخفض فى الفقد الحرارى تتم معادلته إلى حد كبير بخفض المدخلات من الطاقة الشمسية للوح الماص للطاقة.

الخواص العامة للمجمعات الشمسية ذات اللوح المستوى:

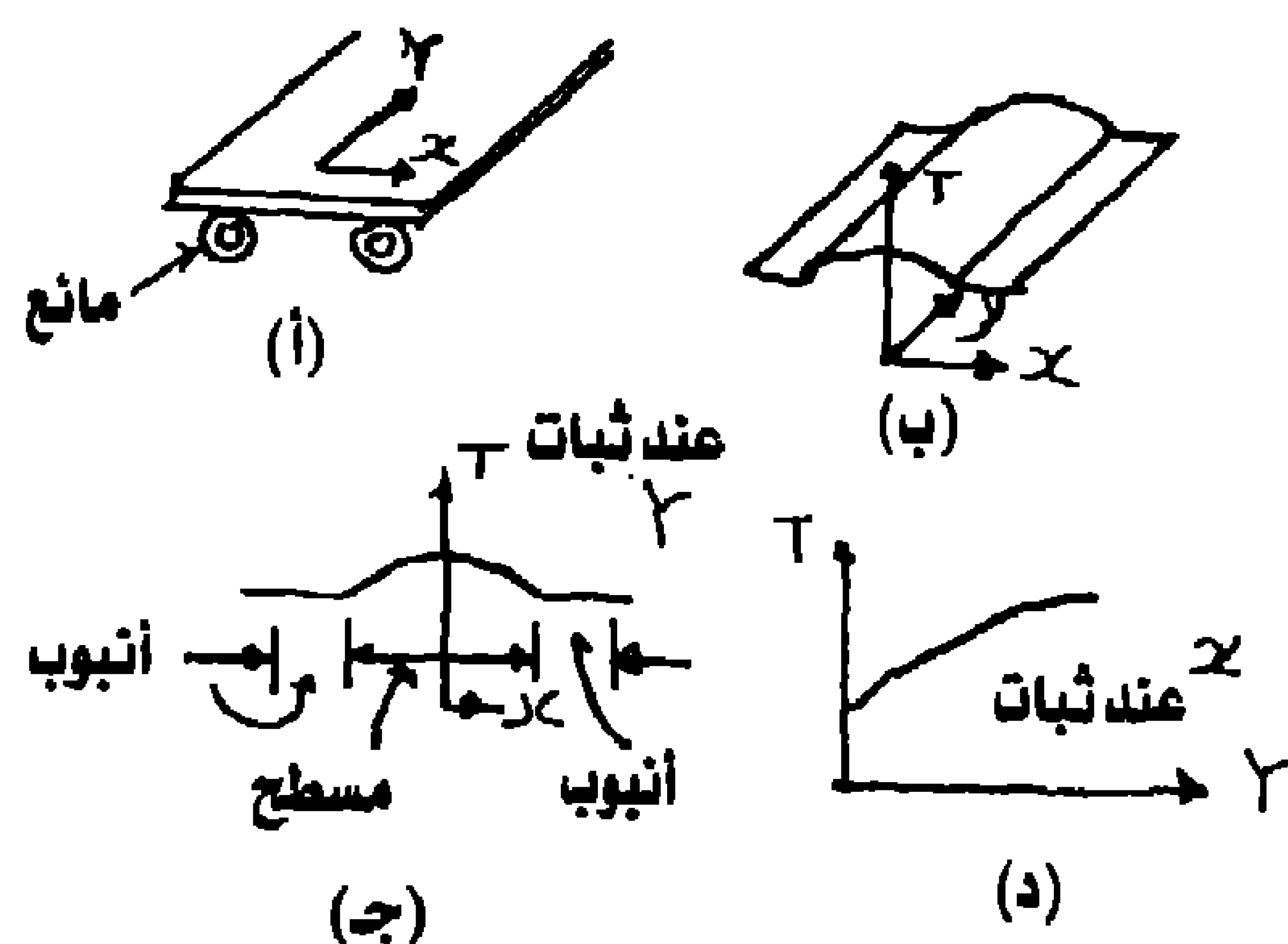
General character is tics of flat plate solar collectors:

النماذج الأكثر استخداماً من مجمعات الطاقة ذات اللوح المستوى هى تلك التى تم تطويرها بواسطة (Hottel and woerts) فى عام 1942، و (Bliss) فى عام 1959.الفرضية الرئيسية التى تم عملها فى كل من تلك الأعمال هى أن تأثيرات السعة الحرارية لمكونات مجمع الطاقة تكون مهملة.

اختبار الشكل المبسط موضح فى الشكل (8/5) الذى يعطى تفهما للتـدرجات فـى درجة الحرارة. الشكل (9/5) يبين المنطقة بين الأنبوبين. بعض من الطاقة الشمـسية الممتصة بواسطة اللوح يجب أن يتم توصيلها على طول اللوح إلى منطقة الأنابيـب. لذلك فإن درجة الحرارة قريباً من الأنابيب سوف تكون أقل من درجة الحـرارة فـى المسافة المتوسطة بين الأنبوبين. درجة الحرارة فوق الأنابيب سوف تكون قريباً مـن التجانس بسبب وجود الأنبوب ومعدن اللحام.



شكل (8/5) المجمع الشمس بالمسطح والأنبوب



شكل (9/5) توزيع درجة الحرارة للوح الماص

المائع الذى يتم تسخينه، يسبب تدرج فى درجة الحرارة فى اتجاه التدفق.

الموقف موضح فى الشكل (9/5) (b) فى أى مكان (y) ، ويتوقع فى أى منطقـة من المجمع الطافى ذلك لأن مستوى درجة الحرارة العام يكون محكوماً بمستوى درجة الحرارة المحلية للمائع (Fluid) والتوزيع العام لدرجة الحرارة فى الاتجاه (x)، موضح فى الشكل (9/5) (C) عند أى مكان (X)، توزيع درجة الحرارة فى الاتجاه (y) سوف يكون مثل الموضح فى الشكل (d).

الفرضيات التى فى التحليل هى :

1- الأداء فى حالة ثبات.

2- الإنشاء من نوع اللوح والأنبوب.

3- الأنابيب الصاعدة أو مجمعات التوزيع (Headers) تغطى مساحة صغيرة من المجمع ويمكن إهمالها.

4- مجمعات التوزيع توفر تدفق متجانس للأنابيب.

5- التدرجات فى درجة الحرارة فى ألواح الغطاء الزجاجى تكون مهملة.

6- يوجد واحد من التدفق البعدى للحرارة خلال الأغطية.

7- يوجد واحد من التدفق البعدى للحرارة خلال العزل الخلفى.

8- السماء يمكن اعتبارها جسم أسود بالنسبة للأشعة ذات طول موجة طويل (Long ware length) عند المكافئ لدرجة حرارة السماء.

9- يمكن إهمال التدرجات فى درجة الحرارة حول الأنابيب.

10- التدرج فى درجة الحرارة فى اتجاه التدفق وبين الأنابيب يمكن معاملته مستقلاً.

11- الخواص الحرارية والإشعاعية لمادة المجمع الكافى تكون مستقلة ولا تعتمد على درجة الحرارة.

12- الفقد الحرارى للأطراف يكون مهملاً مقارنة بالفقد الحرارى خلال لوح المجمع الطاقى.

13- الفقد خلال الأمام والخلف هو نفسه درجة الحرارة العادية.

14- إهمال الغبار والأوساخ على المجمع.

15- ظلال لوح الامتصاص للمجمع الطاقى تكون مهملة.

16- الأنابيب الصاعدة أو مجمعات التوزيع (Headers) تحتوى حجم كبير من المياه غير متناسب (Disproportionally).

تقييم المعامل الكلى للفقد :

الفقد فى الطاقة من لوح المجمع الطاقى يتكون من الإشعاع والحمل الحرارى (Convection) نحو الغطاء والأطراف والتوصيل الحرارى (Conduction) نحو العزل الخلفى (Back Insulation). عند بعض الأماكن النموذجية على اللوح (Plate)

حيث تكون درجة الحرارة (tp) (أى متوسط درجة حرارة اللــوح)، وكميــة الطاقــة الشمسية S يتم امتصاصها بواسطة اللوح.

$S = [HR\ (T\alpha)_{beam} + HR\ (t\alpha)_{diffuse}]$

هذه الطاقة الممتصة يتم توزيعها إلى فقد (Losses) خلال القمة والقاع والأطراف وإلى اكتساب طاقة مفيدة.

الشبكة الحرارية (Thermal Network) لنظام 3 غطاء والشبكة الحرارية المكافئة لها موضع فى الشكل (6/1) ، (2/8).

الفقد فى الطاقة خلال قاع مجمع الطاقة موضح فى المقاومتين R_2 ,R_1. (R_1) تمثل المقاومة لتدفق الحرارة خلال العزل، (R_2) تمثل مقاومة الحمل الحــرارى والإشــعاع الحرارى نحو المجال المحيط. حيث أن R_1>> R_2 فإنه يمكن إهمال قيمــة (R_2) فــى الحساب. لذلك، فإن معامل الفقد الخلفى (Ub) هو تقريباً.

$$Ub = \frac{1}{R_1} = \frac{1}{Xi / Ki} = \frac{Xi}{Ki}$$

حيث:

Ki = التوصيل الحرارى للعزل

Xi = السمك الحرارى للعزل

إذا كان سمك العزل للطرف مساوياً للسمك العزل للقاع، فإن الفقد فى الطرف (أو الحافيه) يمكن تقديره بافتراض تدفق حرارة بالبعد الواحد للمسار الجانبى حول محــيط نظام جامع الطاقة. (One dimential sideways heat flow around the perimeter of the ollector system)

معامل الفقد لقمة السطح هو نتيجة الحمل الحــرارى والإشــعاع، بــين الألــواح المتوازية. الانتقال للطاقة بين اللوح والغطاء الزجاجى الأول هو نفسه مثل ما بين أى لوحين آخرين من الزجاج متقاربين وهذا هو تقريباً يساوى الفقد فى الطاقة نحو المجال المحيط من قمة الزجاج. الفقد فى الطاقة خلال القمة لوحدة المساحة ($\varphi_{Loss,Top}$) يكون عندئذ كالآتى:

$$\varphi_{Loss.top} = hp - CI(Tp - Tc - 1) + \frac{\sigma(T_p^4 - Tc - I^4)}{\frac{1}{\varepsilon_p} + \frac{1}{\varepsilon_8} - 1}$$

حيث:

$Hp\text{-}CI$ = معامل الانتقال الحرارى بين لوحين متوازيين مائلين

TP = متوسط درجة الحرارة المطلقة للوح درجة كلفن (^{o}K).

Tc = درجة حرارة الغطاء الزجاجى.

σ = ثابت (Ste fan bolt znann)

ζp = انبعاثية اللوح لأشعة تحت الحمراء.

ζg = انبعاثية الغطاء الزجاجى للأشعة تحت الحمراء.

كذلك يمكن كتابة ($q_{Loss, Top}$) كالآتى

$$\varphi_{Loss,Top} = (h_p - C_I + H_{rI}) (T_p - T_C - 1)$$

حيث:

h_{rI} = معامل الانتقال الحرارى بالإشعاع

طبقات التغطية أو الطلاء الانتقائية للماص الطاقى :

Selective absorber coatings:

الطريقة المؤثرة لخفض الفقد الحرارى من لوح الماص الطاقى لإطار التسخين الشمسى هو باستخدام طلاءات انتقائية للماص الطاقى. الطلاء المثالى الانتقائى هو ذلك الماص الجيد للإشعاع الشمسى وحيث يكون عاكس جيد للإشعاع الحرارى. مثل هذا الطلاء يجعل السطح ضعيف الانبعاث للإشعاع الحرارى. لذلك، فإن الطلاء الانتقائى يزيد من درجة حرارة سطح الماص الطاقى. فى عدم وجود فقد خلفى لسطح الامتصاص الطاقى، فإن حالة الاستقرار تعطى

الفيض (تدفق) الشمس الممتص = الفيض الحرارى المنبعث

Solar flux absorbed = thermal flux emitted

الامتصاصية والانبعاثية للإشعاع عند طول موجة معين يكونا متساويين. ولكن، عند أطوال الموجات المختلفة يمكن أن يتغير إلى قرب الصفر إلى قريباً من الواحد الصحيح. نظراً لأن 96% من الإشعاع الشمسى يكون مركزاً فى أطوال موجات ما بين أقل من 2.5 ميكرومتر (2.5μm) وأن 99% من الإشعاع من سطح المجمع الطاقى (الذى يعمل عند درجة حرارة أقل من 400° كيلفن) يكون فى أطوال موجات ما يزيد عن 2.5 ميكروميتر فإنه يكون السطح الذى سوف يمتص كل الإشعاع الشمسى فى حين يكون الإنبعاث قليل جداً.

السطح الانتقائى هو السطح الذى له امتصاصية عالية للإشعاع قصير الموجة (أقل من 2.5 ميكروميتر) وإنبعاثية منخفضة للإشعاع طويل الموجة (أعلا من 2.5

ميكرومتر). رغم اختبار عدد كبير لمعالجات تجريبية للسطح الانتقائى والطلاءات، إلا أن القليل هو الذى استمر وقاوم معملياً.

يوجد عدد كبير متاح من الطلاءات الغير انتقائية ولها استعمال على نطاق واسع كطلاءات اللوح المستوى للجامع الطاقى. وهذه هى أساساً طلاءات من مواد عضوية مثل الطلاءات السوداء المستوية (Flat Black Paints). من تلك الطلاءات له امتصاصية تزيد عن 0.95 وانبعاثية من 0.9 إلى 0.95 رغم أن الانبعاثية مرتفعة فإن استعمال تلك الطلاءات يمكن تبريره اقتصادياً فى بعض الاستخدامات حيث لا يكون المطلوب درجة حرارة مرتفعة للجامع الطاقى (Collector)، كما فى حالة نظم المياه الساخنة أو سخانات حمامات السباحة. الجدول الآتى يوضح خواص بعض الطلاءات الانتقائية.

جدول (1/5) خواص الطلاء الانتقائى

الطلاء (أو الغطاء)	النوع	الامتصاصية α	الانبعاثية
الكروم الأسود Black chrome	الطلاء بالترسيب الكهربى	0.96	0.1
النيكل الأسود	الطلاء بالترسيب الكهربى	0.9	0.1
النحاس الأسود	أكسيد النحاس	0.92 - 0.87	- 0.07 0.35
الأنودة السوداء	أكسيد الألومنيوم	0.94	0.07
لفائف شمسية Solar foil	الكروم الأسود فوق النحاس	0.96	0.1
Enersorb•	طلاء اليوريثين	0.97	0.9
Nextel	طلاء	0.98	0.89
•غير انتقائى			

معظم الأسطح تكون ذات خاصية امتصاص جيدة للإشعاع الشمسى تكون كذلك ذات إشعاع جيد للحرارة. كمثال، إذا كان سطح غير انتقائى له قدرة امتصاصية 0.95 للإشعاع، فإنه سوف يشع حرارة بمعدل حوالى 95% من ذلك للجسم الأسود المشع. الأسطح الانتقائية تكون قادرة على امتصاص الإشعاع الشمس بكفاءة فى حين وفى نفس الوقت تكون ذات خاصية إشعاع حرارى ضعيفة. معظم الأسطح الانتقائية تكون

مكونة من طبقة رقيقة من الأكسيد المعدنى الأسود على أساس معدنى لامع. الطلاء من الأكسيد الأسود يكون سميكاً بما يكفى للعمل كماص شمسى جيد، بقوة امتصاص مرتفعة حتى 0.96، ولكن يكون أساساً شفاف للإشعاع الحرارى ذو الموجة المنخفضة المنبعث بواسطة غرض عند درجة حرارة عدة مئات من الدرجات الحرارية. نظراً لأن المعادن اللامعة لها إنبعاثية ضعيفة للإشعاع الحرارى أى، أنها ضعيفة الإشعاع الحرارى، ونظراً لأن طبقة التغطية الرقيقة من الأكسيد تكون شفافة لهذا الإشعاع، فإن المجموع يكون ضعيف الإشعاع الحرارى. نتيجة لذلك، فإن الفقد الإشعاعى من السطح الانتقائى يكون أقل كثيراً عن ذلك من السطح الغير انتقائى التقليدى. معامل الفقد الحرارى الكلى (U_L) يقل عند استخدام هذا النوع من الأسطح.

كذلك فإن السطح الانتقائى يجب أن يكون له الخواص التالية بالإضافة إلى خواص الطيف السابق ذكرها.

1- عدم تغير خواصه بالاستخدام. فقد لوحظ هبوط كبير فى قيم (εp) , (α) فى حالة بعض الطلاءات الانتقائية، حيث كان ذلك بسبب تأثير التعرض لرطوبة الجو.

2- يكون قادراً على تحمل مستويات درجة الحرارة المصاحبة لسطح لوح الماص الطاقى للمجمع الطاقى خلال فترة زمنية طويلة. كما يكون قادراً على مقاومة أى ارتفاع فى درجة الحرارة لفترة زمنية قصيرة والذى يمكن أن يحدث وذلك عند عدم إزالة حرارة مفيدة.

3- يكون قادراً على تحمل التآكل الجوى والأكسدة.

4- يكون سعره مناسب.

تأثير الغبار، الظلال (Effect of Dust and Shading)

خلال تجارب طويلة على المجمعات الطافية (Collectors)، فقد وجد أن أداء المجمع الطافى تقل بحوالى 1% بسبب الزجاج الوسخ. فقد وجد أن الغبار يقلل الشفافية بمتوسط 8% للزجاج المائل بزاوية 45^{o}.

لأغراض التصميم بدون اختبارات مكثفة، يقترح أن الإشعاع الممتص بواسطة اللوح يقل بمعامل (α -1) حيث (d) تكون حوالى 0.02 بسبب الغبار.

ترسيب الغبار على نظام الغطاء يقلل شفافية نظام الغطاء وبذا كفاءة المجمع الطاقى. معدل الترسيب للغبار يتوقف على معايير تخطيطية وقياسية (Graphical and Metrological). معامل الغبار مرتبط بمعامل الإنفاذ (Transmissivity)، لذلك فإن معامل الغبار يتوقف على أماكن الأبحاث. مقارنة

وترابط نتائج البحث للأبحاث السابقة يمكن فقط إذا كان الإنفاذ لطبقة الغبار معلوماً وبدلالة (1) زاوية السقوط (2) معدل ترسيب الغبار (3) نسبة التشتت للإشعاع الكلى. لذلك، فإنه يلزم دراسة منهجية للخفض فى الانتقالية بسبب الغبار بالإشارة إلى المتغيرات السابقة.

حيثما تكون زاوية السقوط ليست عمودية، وأن بعض الإنشاء سوف يقاطع الإشعاع الشمسى. فإن بعض من هذا الإشعاع سوف ينعكس نحو اللوح الماص إذا كانت الحوائط الجانبية من مادة عالية الانعكاس. لقد أوصى (Hottel and Weertz) أن الإشعاع الممتص بواسطة اللوح يقل بحوالى 3% بالنسبة لتأثيرات الظل. لذلك، فإن الإشعاع الممتص بواسطة اللوح يقل بـ (S-1)، حيث S = 0.03 بسبب التظليل والحجب.

لذلك كمية S :

$$S = HR < \tau\alpha > (1-d)(1-S) = 0.951\ HR < \tau\alpha >$$

اختيار مواد المجمعات الطافية ذات اللوح المستوى :

Selection of Materials for flat - plate collectors:

لتصميم وإنشاء المجمعات الشمسية (Solar collectors) لأغراض التسخين والتبريد، فإنه يلزم معلومات تفصيلية عن خواص المواد وخصائص المكونات المختلفة لمعرفة الأداء والقدرة على التحمل للمجمع الطافى. البيانات اللازمة يمكن تقسيمها إلى ثلاث أنواع:

1- حرارية طبيعية (Thermo physical).

2- طبيعية.

3- خواص بيئية.

الخواص الحرارية الطبيعية تشمل التوصيل الحرارى، الطاقة الحرارية، وخواص انتقال الإشعاع الحرارى. الخواص الطبيعية تشمل الكثافة، إجهاد الشد، ونقطة الانصهار، ومعامل اللدونة. الخواص البيئية تشمل مقاومة التحلل بفعل الأشعة فوق البنفسجية، اختراق الرطوبة، والقابلية للتحلل بسبب الملوثات فى الجو. كل من تلك البيانات يكون مطلوباً لتطوير المجمعات الطافية التى يمكن الاعتماد عليها وذات قدرة على التحمل وعالية الكفاءة. القدرة على التحمل هى التى ينظر إليها غالباً بواسطة المبتدئين.

اللوح الماص الطاقى : (Absorber plate)

اللوح الماص للمجمع الطاقى يجب أن يكون ذو توصيل حرارى، إجهاد شد وإجهاد ضغط مناسب ومقاومة جيدة للتآكل. النحاس هو عموماً المفضل بسبب القدرة العالية على التوصيل ومقاومة التآكل. كذلك فإن المجمعات الطاقية يمكن إنشاءها من الألومنيوم، الصلب ومن مختلف المواد الثيرموبلاستك. الألومنيوم والصلب يتطلب مائع انتقال حرارى مثبط للتآكل. معظم مياه الشرب تحتوى الكلوريد وأيونات المعدن (مثل النحاس والحديد)، تلك سوف تسبب تآكل ثقبى (Pitting) فى قنوات الألومنيوم. كذلك، فى حالة استخدام الألومنيوم فإنه لا يمكن خلط سباكة النحاس ومجمعات الطاقة من الألومينوم بدون أخذ الاحتياطات المناسبة لضمان أن أيونات النحاس من تآكل المواسير والكلوريدات من سبائك خفض درجة حرارة اللحام (Soldering fluxes) لا تحدث تلفا للألومنيوم. التأثيرات الجلفنية يمكن أن تكون عاملاً هاماً فى النظم متعددة المعادن، لذلك فإن العزل الكهربى يجب توفيره باستمرار فى النظم متعددة المعادن، لذلك فإنه يتم دائماً توفير عزل كهربى بين المعادن الغير متماثلة. إذا كان معدل التدفق عالى جداً، فإن التآكل يمكن كذلك حدوثه بواسطة عملية الاحتكاك البسيطة الناتجة على المعدلات العالية للتدفق والاضطراب فى مسارات المائع. حدوث انسداد جزئى فى مسارات التدفق يمكن كذلك أن يسبب سرعات محلية عالية، ناتج عن هذا النوع من التحلل.

حتى قريباً كان يتم تصنيع ألواح الماص الطاقى للمجمعات الشمسية ذات اللوح المستوى بأنابيب ملحومة مع معدن اللوح، والذى كان عندئذ يتم تسويده. بعض من السخانات الشمسية القديمة كان لها أنابيب مثبته مع اللوح بدون لحام، حيث نتج عن ذلك ضعف الانتقال الحرارى وضعف الأداء الحرارى. الطريقة القياسية لتصنيع اللوح الماص كانت يأخذ مسطح (لوح) من النحاس أو الألومنيوم ولحام الأنابيب فيه، الإشعاع الشمسى الساقط على اللوح يعمل على تسخين اللوح المعدنى وبعض من الحرارة كان ينقل إلى الماء المتدفق خلال الأنابيب. أحد أهم التحديث فى التقنيات الشمسية هو تطوير ألواح المجمع الطاقى بالأنبوب الداخلى (Internal Tube Collector Plates)، مثل الإطار من اللفائف المتماسكة (Roll - bond panel) والأنبوب فى شريط لوح المجمع (Tube Instrip collector plate). مجمعات الأنبوب الداخلى لها تفوق فى خواص الانتقال الحرارى وكذلك يمكنها إنتاجها بكميات، بحيث أن عملية اللحام المرهقة للأنابيب مع اللوح المستوى تم التخلص منها. كذلك فإن الأنابيب لا يمكن أن تكون مفككة بالنسبة للوح. لهذه الأسباب

والظواهر الأخرى المرغوبة من ألواح الماص بالأنبوب الداخلى، فإن هذه الماصات الطافية قد تم استخدامها فى كثير من التصميمات الحديثة للمجمعات الطافية.

لوح التغطية : (Cover plate)

لوح (أو ألواح) التغطية الذى خلاله يجب انتقال الطاقة الشمسية له أهمية كبيرة بالنسبة لأداء المجمع الطاقى. الغرض من ألواح التغطية هو:

1- نقل ما أمكن من الطاقة الشمسية إلى لوح الماص الطاقى.
2- خفض الفقد الحرارى من لوح الماص نحو المجال المحيط.
3- تغليف لوح الماص من التعرض المباشر للعوامل الجوية.
4- استقبال ما يمكن من الطاقة الشمسية لأطول فترة ممكنة خلال اليوم.

أهم العوالم بالنسبة لمواد لوح التغطية هى القوة، القدرة على التحمل، عدم التحلل والانتقالية للطاقة الشمسية.

الزجاج المطبع (حيث الإحماء بعد التبريد السريع Tempered glass) هو مادة التغطية العادية للمجمعات الطاقية حيث ثبت قدرتها على التحمل وكذلك لأنها لا تتأثر بالإشعاع فوق البنفسجى من الشمس. لقد أظهرت الخبرة أنه بدون التطبيع للزجاج، فإن الدورة الحرارية من يوم إلى آخر للوح التغطية يمكن أن تسبب الكسر. الزجاج المطبع المركب بطريقة صحيحة على مجمع اللوح المستوى يكون عالى المقاومة ضد الكسر سواء من الدورة الحرارية ومن الحوادث الطبيعية. كذلك فإن الزجاج مؤثر فى خفض الفقد الحرارى بالإشعاع نظراً لأنه معتم (غير نفاذ) للأشعة تحت الحمراء طويلة الموجة التى تنبعث من لوح الماص الطاقى الساخن.

كذلك مواد البلاستك يمكن استخدامها فى ألواح التغطية، مثل Acrylic poly carbonate plastics, plastic films to tedlar and mylar and commercial plastics such as lexan. المواد البلاستك تميل إلى أنها ذات فترة عمرية محدودة بسبب تأثير الضوء (الإشعاع فوق البنفسجى فى خفض الانتقالية للبلاستك. كذلك، وهى عادة تكون ذات خاصية انتقالية جزئياً للإشعاع طويل الموجة ولذلك تكون أقل تأثيراً فى خفض الفقد الحرارى الإشعاعى من لوح الماص الطاقى. كذلك فإن بعض أنواع البلاستك تكون غير قادرة على مقاومة أقصى اتزان لدرجات الحرارة التى تحدث فى المجمعات الطاقية ذات السطح المستوى، خاصة عندما يكون المجمع الطاقى جافاً. الميزة الرئيسية لمواد البلاستك هى مقاومة الكسر، خفه الوزن، وفى بعض الحالات خفض التكلفة.

معظم المواد البلاستك والزجاج ذات العلاقة لها معاملات انعكاس بحوالى 1.5. فى حالة عدم طلاءات خاصة أو معالجة سطحية فإن النتيجة هى 8% من الإشعاع العمودى الشمسى ينعكس من الزجاج بعيداً عن لوح الماص الطاقى من كل لوح تغطية، وجزء أكبر ينعكس على زوايا سقوط أعلا. هذا يعنى أن أقصى انتقالية هى 92% لمسطح زجاجى واحد تام النظافة وغير ماص. فى الأطر ذات التزجيج المتعدد، الخفض فى الانتقالية هو حوالى 8% زيادة لكل سطح (Sheet) إضافى. بالإضافة إلى أنه يوجد خفض فى الانتقالية بسبب امتصاص الإشعاع الشمسى خلال المادة نفسها. كمية الإشعاع الشمسى المنعكسة يمكن خفضها إلى حد كبير بالحفر أو النمش بالحامض (Etching) أو باستخدام طلاء للسطح مانع للانعكاس. الحفر أو النمش بالحامض ينتج طبقة سطحية ذات معامل انعكاس أقل من 1.5 والذى ينتج عنه خفض فى الانعكاس.

الانتقالية للزجاج تعتمد على محتواه من الحديد والسطح العادى لزجاج النافذة يبدو باللون الأخضر عند النظر إليه خلال الطرف ذلك بسبب أكسيد الحديد خلال الزجاج. الزجاج البللورى الأبيض المائى له أدنى محتوى من الحديد لذلك أعلا انتقالية للطاقة الشمسية. بلورة الزجاج الأبيض المائى Water white crystal متاحة فى حالة تلوين أو تطبيع (Annealed or tempered). الزجاج المطبع (Tempered) له خمسة أضعاف المقاومة الصدمة والمقاومة الحرارية مقارنة بالزجاج الملون العادى. (التطبيع هو التسخين بعد التبريد المفاجئ).

عند اختيار الزجاج كألواح للتغطية، فإن القوة الميكانيكية يجب أن تكون مناسبة لمقاومة الكسر من أقصى رياح متوقعة ومن أحمال تراكم الثلوج، والارتطام المتوقع عادة. القوة الميكانيكية تتناسب مع مربع سمك الزجاج. ألواح التغطية للمجمعات الشمسية عادة يجب ألا يقل سمكها عن 0.33 سم.

الصدمة الحرارية للوح التغطية الزجاجى يجب كذلك أن تؤخذ فى الاعتبار. وهى بسب العديد من العمليات المختلفة. أولاً بسبب التسخين والتبريد بين يوم وآخر من زيادة الكثافة الشمسية على المجمعات خلال الصباح وانخفاضها فى ساعات بعد الظهر. بالإضافة، إلى الغيوم التى تظهر فى الجو، عندئذ يمكن للانتقالية للزجاج أن تزيد أو تقل بحوالى 50°م أو أكثر فى خلال دقائق معدودة عند مرور السحب. المساحة المركزية للمجمع الطاقى تكون معرضة لتسخين أكبر مقارنة بأطراف الزجاج، ذلك لأن الأطراف تكون غير معرضة للضوء المباشر للشمس. هذا ينتج عنه إجهاد حرارى فى الزجاج عند الأطراف والذى يمكن أن يقدر عند 6000 كجرام/المتر المربع. فرق درجة الحرارة بين المركز الساخن والطرف البارد للوح الزجاج، ألواح الزجاج الأكثر

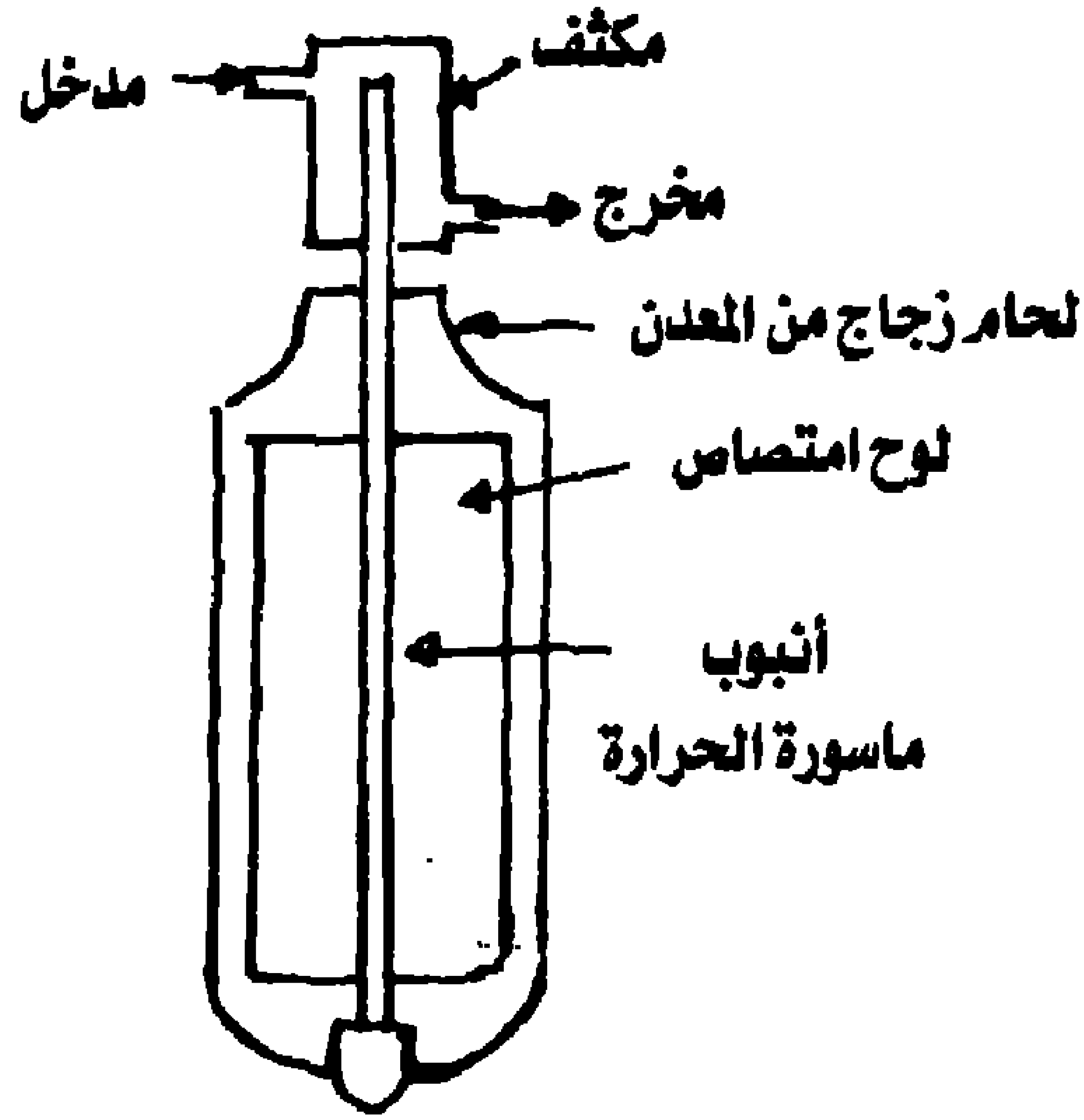
سمكا تكون أكثر عرضة للصدمة الحرارية مقارنة بالألواح الرقيقة. إجهاد إضافى آخر يمكن أن يحدث وذلك عند التظليل الجزئى للمجمع الطاقى الواحد. فى هذه الحالة يكون جزء من اللوح الزجاجى معرضاً لدرجات حرارة مرتفعة بينما المساحة التى عليها ظلال لا تكون معرضة. هذه العمليات يمكن أن تنتج بسهولة عن كسر الزجاج الغير ملدن (Non annealed) وتستوجب استخدام الزجاج المطبع (Tempered) فى المجمعات الطاقية الشمسية. كذلك فإن الجساءة أو عدم قابلية الانثناء أو الانفعال (Rigidity) للوح التغطية تعتبر هامة. الجساءة تتناسب مع مكعب السمك للوح. مقاومة الكسر تحت الإجهاد الميكانيكى يكون ذو أهمية خاصة وذلك عند التزجيج المزدوج للمجمع الطاقى. قد يكون بعض الانثناء (Flexure) مطلوباً لاحتواء تمدد الهواء خلال الفجوة عند سخونة هذا النوع من المجمعات الطافية.

المجمعات الطاقية ذات درجة الحرارة العالية - الغير مركزة- المجمعات الشمسية ذات الأنبوب المفرغ:

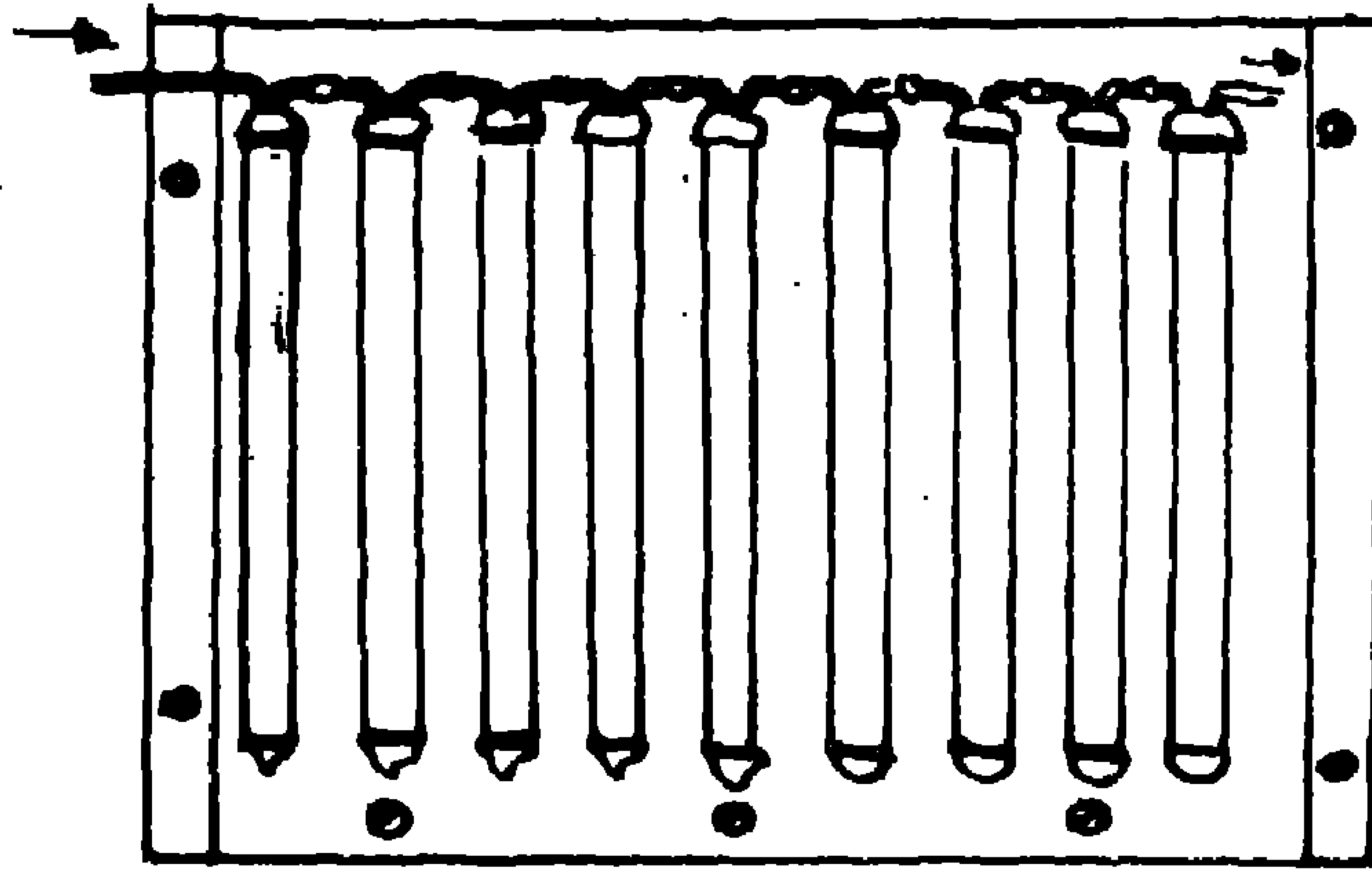
High temp -Non concentrating collectors- Evacuated tube solar collectors:

الفقد الحرارى من لوح الامتصاص من خلال التوصيل (Conduction) الحرارى والحمل الحرارى (Convection) يمكن عدم حدوثه من خلال إزالة كل الهواء تقريباً فى الفضاء بين لوح الامتصاص والغطاء الزجاجى. الفقد بالإشعاع يتم توقفه باستخدام سطح ماص انتقائى. الإعاقة المؤثرة للتوصيل والحمل تحتاج إلى ضغط زئبق حوالى 10^{-4}مليمتر، أو تفريغ شديد بدون توفير حاملات للزجاج فى مجمع السطح المستوى النموذجى، فإن السطح الزجاجى المستوى سوف يتحطم مع فرق الضغط هذا، كذلك فإنه سيكون من الصعوبة المحافظة على عزل التفريغ (Seal). لهذه الأسباب فإن المجمعات المفرغة يكون لها تصميم أنبوبى، الذى له قوة أعلا لمقاومة الضغط الخارجى. بعض التصميمات تتضمن ماصات الطاقة المستوية (Flat absorbers)، والبعض الأخر أسطح امتصاص أسطوانية ولكن الكل هو من نوع الغير محدث للتركيز (Non-Concentrating) ولذلك سيتم تناوله.

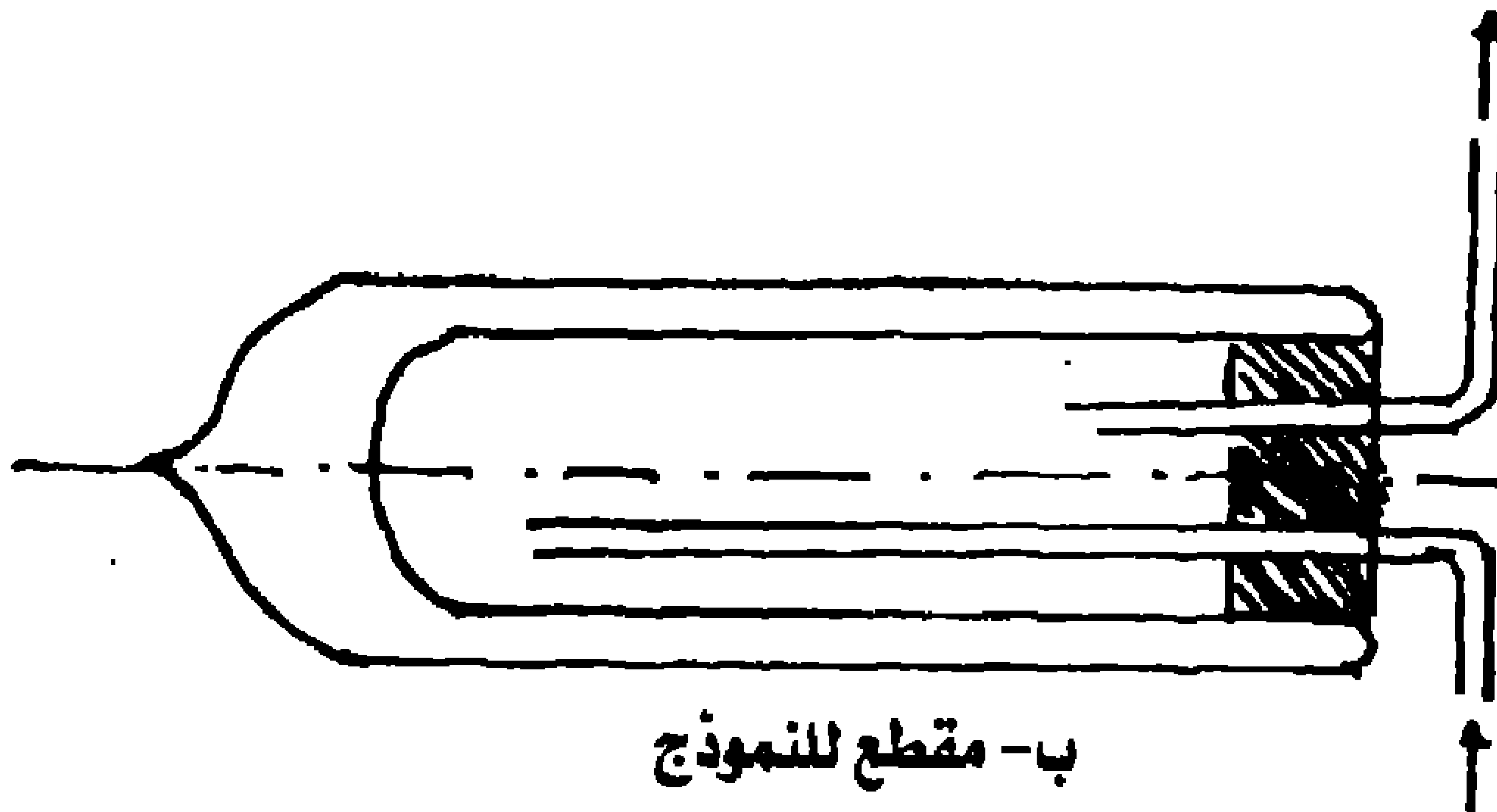
مخطط لمجمع أنبوب التفريغ مبيناً للأجزاء الرئيسية موضح فى الشكل (10/5)، الشكل (a ,b 11/5) مسقط علوى ومقطع لمجمع الأنبوب المفرغ.



شكل (10/5) مخطط المجمع الأنبوب المفرغ مبينا الأجزاء المختلفة للمجمع



أ - منظر علوى للمجمع



ب- مقطع للنموذج

شكل (11/5) المجمع الشمسى بالأنبوب المفرغ

الكروم الأسود والنيكل الأسود هما الأسطح الانتقائية الأكثر استخداما للنظم الحرارية الضوئية ذات درجة الحرارة المنخفضة والمتوسطة.

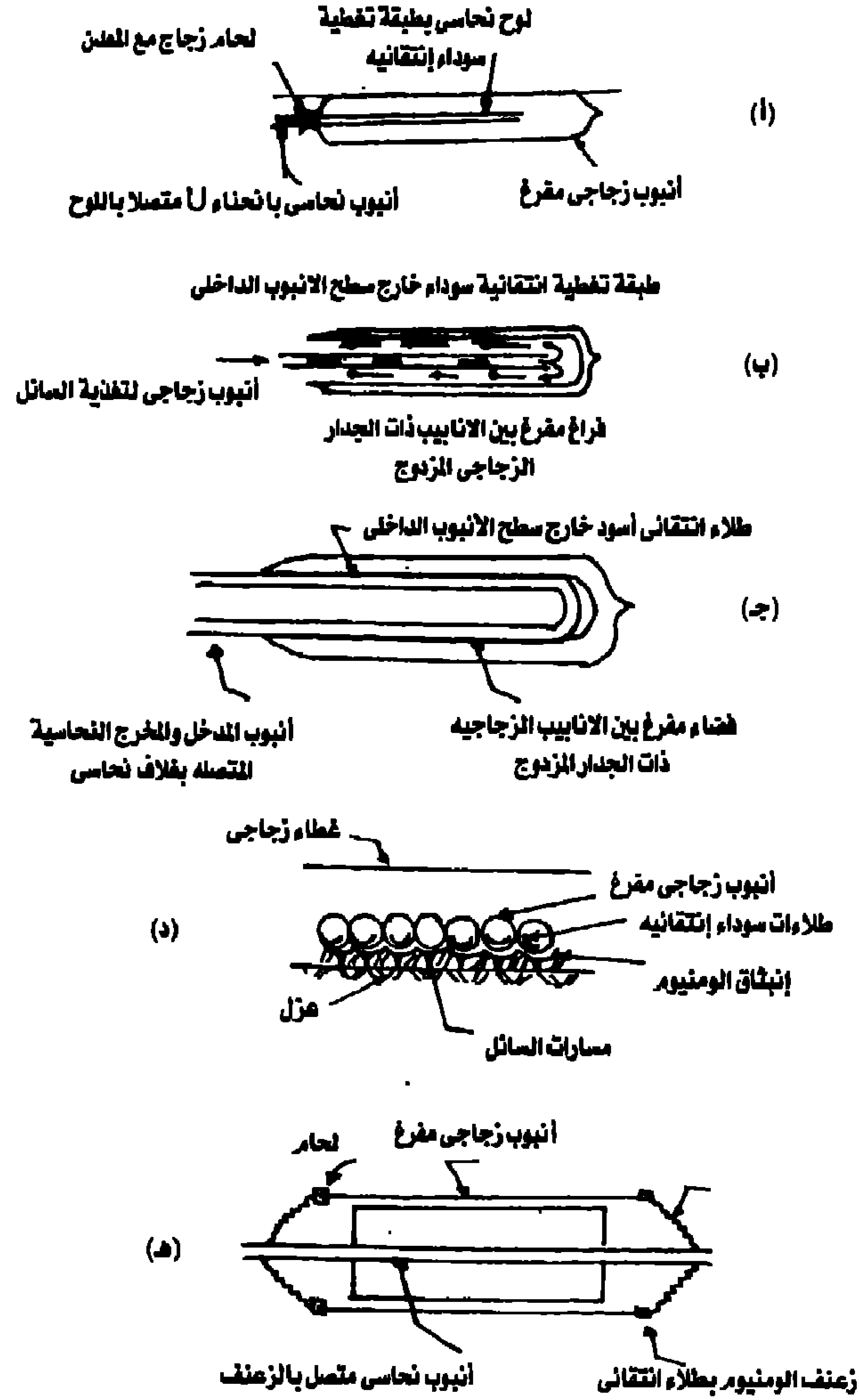
النيكل الأسود يفضل كطبقة تغطية (طلاء) للماص الطاقى بسبب انخفاض كثافات التيار اللازمة لترسيب طبقة التغطية. تغطية طبقة النيكل الأسود يتوقع أن تكون ثابتة فى نظم التفريغ حتى عند درجة حرارة 250^{o}م، بينما تتلف عند حوالى 20^{o}م فى حالة المكشوف.

الأنابيب الزجاجية بقطر 25 مليمتر وطول 300 مليمتر يتم تلميعها ميكانيكيا ثم تغطيتها بطبقة النيكل باستخدام تقنية الترسيب الإلكتروليتى. كل من أنابيب النيكل المغطاة بالنيكل الأسود يتم تغليفها بواسطة أنبوب زجاجى خارجى (بقطر 36مليمتر) والفضاء الحلقى بينهما يتم تفريغه إلى 10^{-3} قطر (Torr) هى وحدة ضغط جوى تعادل ضغط مليمتر واحد من الزئبق = 133.3 بسكال) ثم يتم اللحام. نموذج المجمع الطاقى يتم لذلك تصميمه وتصنيعه بعدد من 8 - 10 من مثل تلك الأنابيب المفرغة. رقيقة الألومنيوم المموجة (Corrugated Al sheet) يمكن استخدامها كذلك كعاكس (Reflector).

أنواع المجمعات الشمسية بالأنبوب المفرغ:

Types of evacuated tube solar collectors:

يوجد فى الشكل (12/5) خمسة أنواع من المجمعات ذات الأنبوب المفرغ. فى أحد الأنواع لمجمعات الأنبوب المفرغ الموضح فى الشكل (12/5أ) يكون الماص مسطح معدنى رقيق أسود محمل عبر القطر لأنبوب زجاجى واحد مفرغ، مع وصلات الأنبوب لتدوير السائل ملحومة عند طرف واحد للأنبوب. السائل يتم تدويره خلال الأنبوب، الذى يكون فى التصاق حرارى قريب مع لوح الماص. سطح الامتصاص الأسود الانتقائى يوقف الإشعاع الحرارى، لذلك فإن كل أشكال الطاقة تكون صغيرة عند درجات حرارة لسخونة الفضاء العادى والعمل عند درجات حرارة تقترب من 200^{o}م يكون ممكنا بأداء جيد.



شكل (12/5) أنواع المجمعات ذات الأنبوب المفرغ

نوع آخر، حيث يستخدم مبدأ قنينة التفريغ (Vacuum tube) التقليدية، حيث يوجد حائط زجاجي مزدوج مع وجود تفريغ في الفضاء بينهما. يتم تدوير السائل أو الهواء خلال التجويف الداخلي للأنبوبة الداخلية الشكل (ب)، حيث أن الطاقة الممتصة بواسطة الطلاء الأسود المرسب على السطح الخارجي للأنبوب الزجاجي الداخلي تنقل إلى المائع (Fluid). النهايات المفتوحة للأنابيب يتم غرسها في مجمع المواسير (Manifolds) المعزول الذي يوفر إطار المائع المناسب خلال مضاعفات الأنبوب. النوع الثالث هو كذلك ذو حائط مزدوج حيث الأنبوب الزجاجي الأسود من الداخل مع وجود تفريغ بين سطحي الزجاج شكل (جـ) . الأنبوب الزجاجي الداخلي يحتوي غلاف (Sleere) رقيق أسطواني من النحاس المتصل به أنبوب من النحاس في شكل

حرف (U) طويل وضيق. الوقود يتم تدويره خلال الأنبوب النحاسى بتدفق على التوالى مع الأنابيب المجاورة.

التصميم الألمانى لمجمع الأنبوب المفرغ موضح فى الشكل (d) والذى يشمل سطح من الألومنيوم المموج الناقل للحرارة، مع ممرات داخلية للمـــائع، التوصـــيل المحكـــم لمصفوفة متلاصقة من الأنابيب الزجاجية المفرغة المغطاة من الداخل بطبقـــة ســـوداء انتقائية. يستخدم غطاء زجاجى مستوى أساسً للحماية من العوامل الجوية.

التصميم اليابانى الموضح فى الشكل (e) يتضمن تدفق مستقيم للسائل فى أنبـــوب نحاس صغير متصل بلوح معدن الامتصاص المستوى داخل أنبوب زجـــاجى مفـــرغ. اختلافات التمدد يتم تداولها باستخدام نفاخات معدنية (Metal Bellows) متصلة بنهايات الأنبوب الزجاجى وبالأنبوب المعدنى.

المبدأ المستخدم هو واحد فى كل الأنواع. السطح الانتقائى والتفريغ العالى ينـــتج عنه إعاقة لكل من الفقد بالإشعاع الفقد بالحمل الحرارى. مع اللحام المستمر للزجاج مع المعدن أو اللحام الكلى – للزجاج، فإن الفقد فى التفريغ يكون نادر الحدوث. حتى فـــى حالة فقد التفريغ فى قليل من الأنابيب الكثيرة، فإن أداء المجمع الكلى يقل قليلاً فقـــط. نظراً لأن الطلاء الأسود يكون داخل الفضاء المفرغ فى كل التصميمات، فإنه يكون تام الحماية من رطوبة الأكسدة، أو أى شكل آخر من العدوانية.

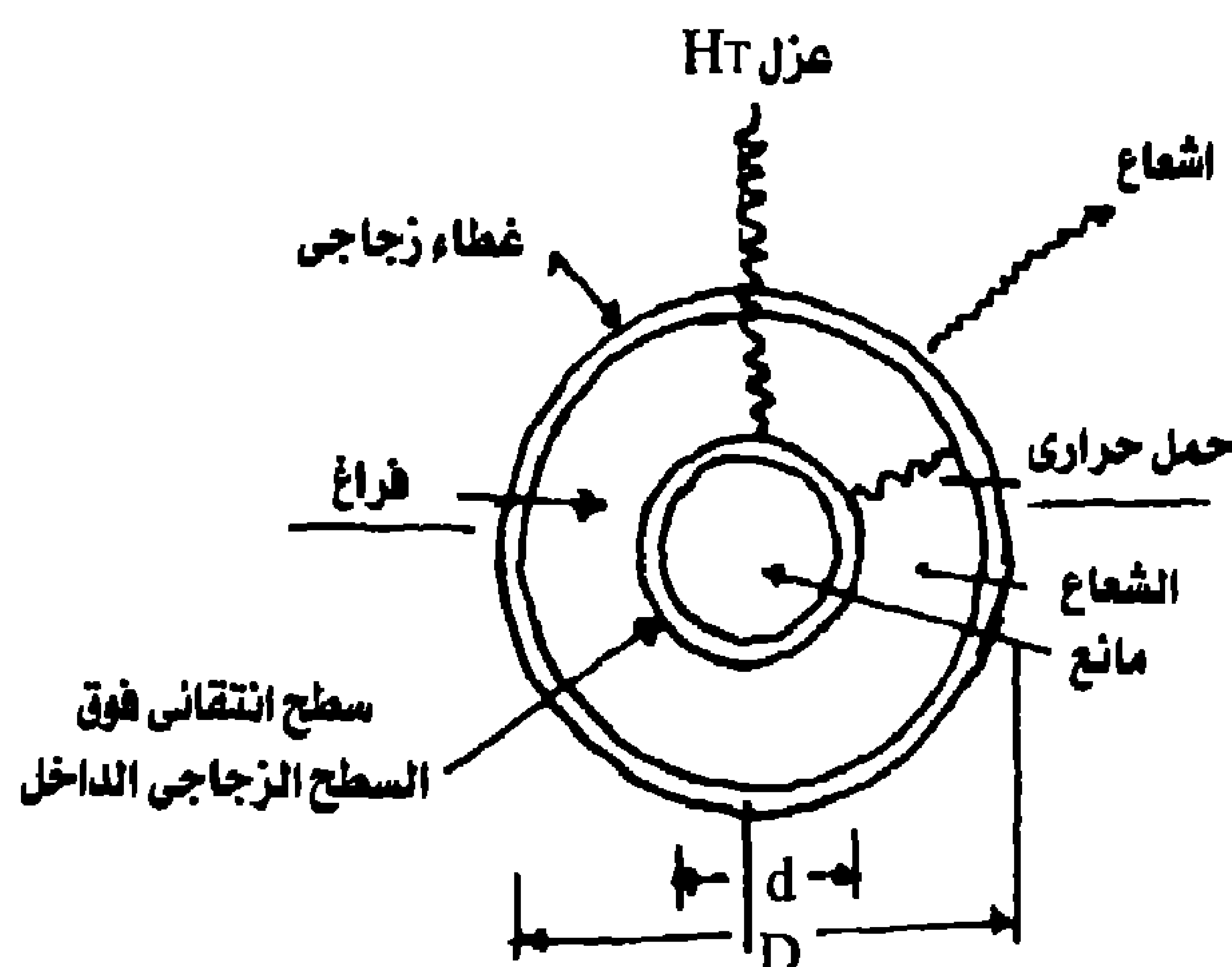
رغم أن الأنابيب الزجاجية لا تتضمن مواد غالية الثمن وأن التصميمات الأخـــرى تكون بسيطة، فإن التشعب (Manifolding) يمكن أن يكون مكلفاً. توزع التدفق السائل على التوالى وعلى التوازى فى قنوات يتطلب تجهيزات سباكة مكلفة. تجمد المياه داخل الأنابيب غير محتمل بسبب العزل الممتاز الذى يحققه التفريغ، ولكن خطورة التجمد فى المشعب تجعل استخدام الموائع التى لا تتجمد فى الأجواء الحادة من الأمور التى ينصح بها.

مقارنة بمعظم تصميمات اللوح المستوى، فإن المجمعات الأنبوبية المفرغة عـــادة يكون لها جزء صغير من المساحة الكلية المشغولة التى تقاطع حقيقة الإشعاع الشمسى. الفضاء بين الأنابيب، المساحات اللازمة لاقتراب المتشعبات والأنابيب الكـــل يتطلـــب فضاء، الذى يحدد التغطية بواسطة سطح الامتصاص الشمسى. بسبب إعاقـــة الحمـــل الحرارى وتوفير سطح انتقائى، فإن قيم الكفاءة الناتجة بواسطة مجمع الأنبوب المفرغ تكون أعلا كثيرا عن تلك باستخدام المجمع الطاقى التقليدى. تشغيل المجمعات الأنبوبية المفرغة يصاحبه المعدل القليل للفقد الحرارى بحيث أنه يمكن الحصول علـــى درجـــة حرارة عالية (قريباً من 200^{o}م) للمائع بكفاءات مقارنة مع تلك المحققة مـــع الأنـــواع

الغير مفرغة التى تعمل عند 100^{o}م فقط. فى النسخ التجارية يكــون قطــر الأنبــوب الزجاجى الخارجى حوالى من 6 إلى 7سم وطولها حوالى واحد متر. وهى مناسبة فقط فى الاستخدامات التى تتطلب درجات حرارة أعلا كثيراً عن تلك المستخدمة فى التدفئة للمجال المحيط واستخدامات التسخين للماء.

تحليل المجمع المفرغ: (Analysis of An Evacuted collector)

المكونات الأساسية للمجمع الطافى فى المفرغ هو أنبوب مــزدوج (Double tube) مثل ذلك الموضح فى الشكل (13/5 -أ)



شكل (13/5) المجمع المفرغ

الأنبوب الخارجى يكون مصنوعاً من الزجاج نظراً لكونه شفاف بالنسبة للإشــعاع الشمسى ولكن ليس للإشعاع الحرارى. كذلك فإن الأنبوب الداخلى يكون من الزجــاج، الذى يحافظ على التفريغ أفضل من معظم المواد الأخرى معدل التــصاعد الخــارجى للغازات من زجاج المحمص المقاوم للنار (Baked Pyrex glass) بحيث أن الــضغط يمكن المحافظة عليه إلى أقل ($0.1N/m^2$) لمدة 300 عام، والذى هــو حــوالى (10^{12}) ضعف ذلك للأنبوب النحاس. الأنبوب الداخلى له مقطع مستدير. هذا يساعد على زيادة التحمل للزجاج الضعيف إلى حد ما لقوى الشد الناتجة فيه بواسطة فرق الضغط بــين المائع بالداخل والتفريغ الخارجى. مثاليا، الأنابيب يكون لها قطر خارجى D = 2سم فى قطر داخل d = 1سم. بالتوصيل المناسب لمصفوفة من تلك الأنابيب، فــإن المجمــع الطاقى يمكنه استقبال كلا من الإشعاع المباشر والمنتشر. الكثير من المتغيرات علــى الأساس الهندسى ثم محاولتها كما سبق توضيحه ولكن ذلك الموضح فى الشكل (13/5أ) هو الذى يمكن تحليله ببساطة.

الفصـل السـادس

المجمعات الطافية الشمسية :
مجمعات اللوح المستوى،
مجمعات تسخين الهواء

Solar collectors: Flat plate air heating collectors
solar air heaters

مقدمة :

سخانات الهواء الشمسية لها مكان هام من بين مجمعات التسخين الشمسى. يمكن استخدامها كنظم غير رئيسية فى كثير من النظم المعنية باستخدام الطاقة الشمسية. الاستخدامات الممكنه لسخانات الهواء الشمسية هى التجفيف أو الإنضاج للمحاصيل الزراعية، تدفئة الجو المحيط، إعادة توليد عوامل إزالة الرطوبة، تجفيف أو تخفيض الرطوبة فى الأخشاب (Seosoning of timber)، إنضاج (Curing) المنتجات الصناعية مثل البلاستك. عموماً سخانات الهواء الشمسية مناسبة فى الاستخدامات لدرجة الحرارة المنخفضة والمتوسطة حيث أن تصميماتها بسيطة نسبياً. عندما يكون الهواء عند درجة حرارة مرتفعة فإن تصميم السخان يصبح معقداً وبالتالى عالى التكلفة. مع التوجه الحديث لتوفير كلا من التدفئة والتبريد بالطاقة الشمسية، فإن سخانات السائل للعمل عند درجة الحرارة العالية أصبحت المحببه. طالما أن استخدام تدفئة الهواء لتحقيق الجو المريح، فإن سخانات الهواء الشمسية هى الاختيار المنطقى.

تسخين المائع بواسطة الشمس، ثم نقل الحرارة إلى الهواء ينتج عنه فقد فى جهد درجة الحرارة المتاحة. إذا كانت حدود استخدامات الطاقة الشمسية بالنسبة لدرجات الحرارة التى يمكن الحصول عليها والكفاءات ذات العلاقة وكذلك متطلبات السعر المنخفض، فإنه يكون من المناسب إبعاد أى عمليات خاصة بالانتقال الحرارى. الاستخدام المباشر لدوران الهواء خلال سخان الهواء الشمسى كمادة التشغيل يقلل كذلك من عدد المكونات اللازمة فى النظام. يمكن استخدام التسخين الشمسى للهواء بكفاءة عالية للتجفيف تحت ظروف محكمة. السخانات الشمسية التى تقوم بإمداد الهواء إلى المجفف التقليدى أو التصميم الذى يجمع سخان الهواء وحجرة التجفيف فى خدمة (أو تغليف) واحدة له مميزات الكفاءة والسعر لاستخدامات التجفيف. سخانات الهواء الشمسية كذلك تبعد التآكل ومشالك التسرب والتى يمكن أن يكون من الصعب مقاومتها بالإضافة إلى تكلفتها. سعر السخان الهوائى يمكن أن يقل كثيراً مقارنة بنظم السائل. استخدام الضغوط العالية فى سخانات السائل تجعل من الضرورى استخدام مسطحات وأنابيب معدنية عالية التحمل للضغط. سخانات الهواء يمكن تصميمها باستخدام مواد أقل حتى بعض المخلفات عديمة القيمة التجارية.

النظم الهوائية ذات جاذبية تفوق النظم السائلة ذلك لأنها تحتاج إلى سباكة أقل وبذلك أقل فى التكلفة. تعقيدات نظم السائل الناتجة من مشاكل التجمد خلال المجمعات، والحاجة لإمكانية التمدد للسائل عند سخونته، متضمنة تبخر السائل إلى الحالة الغازية (مثل تبخر الماء إلى البخار)، واحتمال التسرب فى أى مكان فى النظام، وكذلك تآكل معدن السباكة. البساطة النسبية لنظم الهواء جذابة لهؤلاء الذين يرغبون فى بناء نظامهم الخارجى، ولكن كما هو الحال لكل النظم الخاصة بجمع وتخزين واستخدام طاقة

الشمس، فإن التصميم المدقق صعب والكل باستثناء التصميمات البسيطة يجب أن يتم تصميمها بمن لديه معرفة فى مبادئ الميكانيكا والانتقال الحرارى. مجمعات الهواء هى كذلك من السهل صيانتها وإصلاحها. المراوح، محركات الإعاقة أو التخميد (Damper Motors) والإحكام يمكن أن تفشل أو تعجز، ولكن المكونات الضخمة بما فيها المجمعات وتخزين الحرارة والمواسير تستمر إلى مالا نهاية. إنشاء المجمعات الهوائية والمكونات المرتبطة بها والنظم تعتبر بسيطة نسبياً وذلك عند مقارنتها بأعمال السباكة ومحاولة وجود لوح امتصاص طاقة متوافقاً مع النظم السائلة. ألواح الامتصاص المتوافقة مع النظم الهوائية يكون تداولها سهلاً، حيث أنها غير متصلة بنظام سباكة، ويجب أن تكون مانعة للتسرب ونظراً لأنه لا يوجد حرص نحو مجالات التمدد والانكماش، فإنه لا يتطلب إنشاءها كثيراً من الدقة والإحكام.

فى الحقيقة، بالنسبة لمجمعات الهواء، فإن السطح الماص ليس من الضرورى أن يكون من المعدن، كما سبق ذكره. حيث فى كثير من تصميم المجمعات، يأتى الهواء ملتصقاً مع كل سطح تم تسخينه بالشمس، الحرارة لا تحتاج إلى التوصيل من مساحة ما من سطح الماص إلى أخرى، كما فى حالة ألواح الامتصاص لمجمعات السائل. غالباً أى سطح أسود الذى يتم تسخينه بالشمس سوف ينقل الحرارى إلى الهواء وذلك عندما يهب الهواء عليه. آلية الانتقال الحرارى هذه تفتح العديد من الإمكانيات لسطح الماص.

قد توجد مشكلة كبيرة فى حالة المجمع الذى لا يتم تصحيحه بطريقة جيدة بخصوص حدود الانتقال الحرارى من لوح الماص إلى مائع الاستخدام لسخانات الهواء. توحد طرق عديدة لتحسين كفاءة الانتقال الحرارى ولذا فإن الكفاءات تكون مقارنة إلى حد ما مع سخانات السائل.

عيوب السخان الهوائى هى:

1- الحاجة إلى تداول أحجام كبيرة من الهواء مقارنة بالسوائل بسبب انخفاض كثافة الهواء كمادة تشغيل.

2- الطاقة الحرارية للهواء منخفضة. فى الحالات حيث يكون المطلوب التخزين الحرارى، فإن الماء هو المتفوق. الماء يمكن استخدامه كمادة انتقال حرارى وكمادة تخزين حرارى. مشكلة التجمد يمكن التغلب عليها باستخدام محلول مضاد للتجمد. بسبب التكلفة العالية لمحاليل مقاومة التجمد، فإن تكلفة التخزين الحرارى للسائل يمكن أن تكون عالية. اقتراح استخدام مقاوم التجمد للمبادلات الحرارية للماء (حيث الماء يكون مادة التخزين) يقلل من تكلفة نظام التخزين ولكن يمكن تبرير الفقد القليل فى درجة الحرارة المتاحة وتكلفة المبادلات عالية

الحرارة. الاختيار النهائى لمائع الاستخدام للطاقة الشمسية هو موضوع معقد الذى يتطلب تحليل مقارن حذر للأداء الحرارى، التشغيل، الصيانة، والمعايير الاقتصادية.

3- له تكلفة تدوير مائع مرتفعة نسبياً (وخاصة فى حالة عدم التدقيق فى تصميم وحدة التخزين الحرارى)

4- له أحجام كبيرة نسبياً للتخزين (تقريبا ثلاث أضعاف تلك المستخدمة فى التخزين الحرارى بالماء).

5- له مستوى عالى من الصوت.

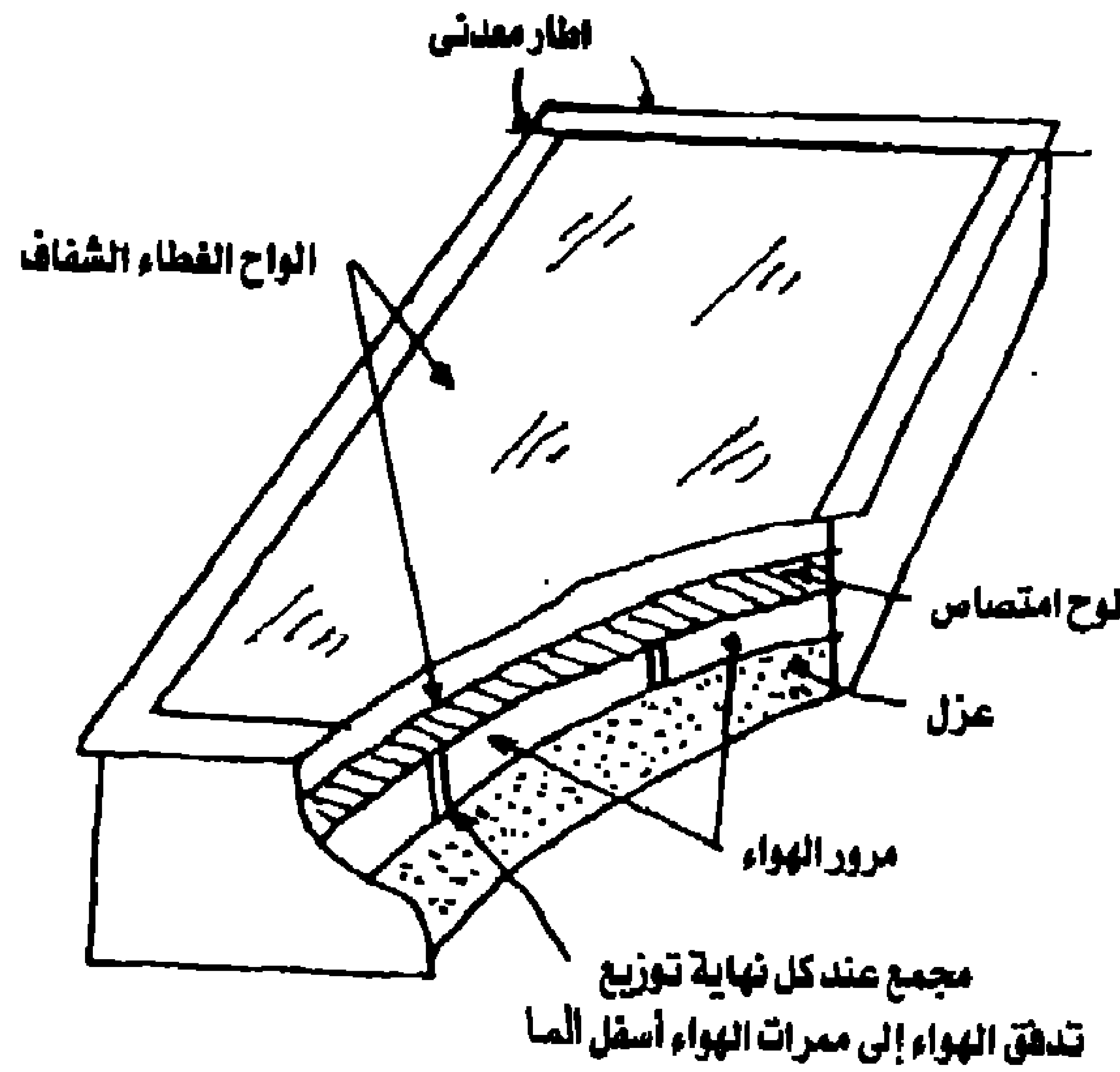
6- النظام له صعوبة نحو إضافة مكونات الهواء التقليدية بالامتصاص إلى نظم الهواء.

7- الحاجة غلى مساحة فراغية للمواسير.

نظم التسخين الشمسى للماء تستخدم مجال الانتقال الحرارى والتخزين فى مساحات من (دول العالم) حيث لا يتم مقابلة درجة حرارة التجمد. حجم تخزين المياه هو غالباً ثلث حجم الضرورى لتخزين كميات مساوية من الحرارة للنظم الهوائية. النظم السائلة هى أكثر سهولة فى التأقلم نحو إمداد الطاقة إلى مكيفات الهواء بالامتصاص وهى كذلك أقل إحداثاً لصخب الصوت مقارنة بنظم الهواء.

متطلبات الطاقة لضخ مائع الانتقال الحرارى تكون قليلة جداً مقارنة بنظم الهواء المستخدمة للنافخات (Blowers) لتدوير الهواء.

الشكل (1/6) يمثل جامع الطاقة بالتسخين الشمسى للهواء.



شكل (1/6) نموذج للمجمع الشمسى بتسخين الهواء

سخان الهواء التقليدى هو عبارة عن ممر مستوى بين لوحين متوازيين. أحد اللوحين يكون مسوداً لامتصاص الإشعاع الشمسى الساقط. يوضع واحد أو أكثر من الأغطية الشفافة فوق السطح الماص.الهواء يتم تمريره خلال الممر وبذا يتم تسخينه. العزل حول الأجناب وقاع الوحدة يكون ضرورياً لخفض الفقد الحرارى إلى أدناه. يوجد ثمانية متغيرات التى يجب أن يراعيها المصمم عند إنشاء السخان الهوائى وهى:

1- شكل السخان بالنسبة لنسب المواسير (القناة) وطول القناة التى يمر الهواء خلالها.

2- تدفق الهواء: يجب ضخ الهواء خلال السخان، زيادة سرعة الهواء تنتج من كفاءة التجميع ولكن تزيد من تكاليف التشغيل.

3- نوع وعدد الطبقات لمادة التغطية يجب مراعاته كما يجب اختيار خواص الانتقالية للطيف. عموماً، كلما كان المطلوب زيادة فى درجة الحرارة، كلما زاد استخدام الأغطية، المبدأ نحو استخدام الأغطية المتعددة هو أن كل طبقة هواء بين غطائيين متتاليين يوفر حاجز ضد الفقد الحرارى من السطح الماص إلى الجو. درجة حرارة أقصى غطاء للوح تصبح منخفضة باستمرار مع زيادة عدد الأغطية، لذلك، فإن الفقد الحرارى من اللوح الخارجى نحو الجو يقل. ولكن، مع العدد الكبير من الأغطية يزداد الفقد بالانعكاس (بالإضافة إلى التكلفة)، بحيث أنه نادرا ما يستخدم ما يزيد عن اثنين من الأغطية. الأغطية ذات القدرة العالية على الانتقالية وانخفاض الانعكاسية تكون مطلوبة للمحافظة على انخفاض كمية الانعكاس والامتصاص.

4- مادة اللوح الماص: رغم أن الأسطح الانتقالية يمكن أن تحسن كثيراً من أداء سخانات الهواء الشمسية بزيادة كفاءة التجميع، فإن المستخدم عادة هو السخانات الشمسية ذات الطلاء الأسود، ذلك بسبب تكلفة الأسطح الانتقائية، تتم تغطية الماص بالطلاء الأسود لامتصاص أقصى كمية من الإشعاع الساقط.الماص يمكن أن لا يكون من مادة معدنية، نظراً لأن الهواء اللازم لتسخينه يكون ملتصقاً مع كل السطح الماص. هذا يعنى أن التوصيل الحرارى للوح الماص (Absorber) غير هام نسبياً.

5- حواجز الحمل الحرارى الطبيعى: ثغرة الهواء الساكن تعترض الإعاقة العالية للتدفق الحرارى بالحمل الحرارى بين اللوح الماص والهواء الجوى. الفقد، فى كل من الإشعاع والحمل الحرارى يمكن خفضه إلى قيم منخفضة باستخدام

الأغطية المتعددة أو خلايا نحل العسل، ولكن ما يترتب على ذلك من خفض فى انتقالية الإشعاع الشمسى يوجد ما يزيد عن ثغرة هوائية ذات قيمة مشكوك فيها.

6- معامل الانتقال الحرارى من اللوح إلى الهواء: يمكن تخشين اللوح الماص وطلاءه لزيادة المعامل المؤثر للانتقال الحرارى بين الهواء واللوح. الخشونة تحقق مستوى عالى من الاضطراب فى الطبقة المتاخمة لمسار تدفق الهواء. لهذا السبب، تكون المادة المفضلة للامتصاص هى الأسطح المموجة والشبك السلك.

7- يلزم العزل عند قاعدة اللوح الماص لخفض الفقد الحرارى خلال الجانب السفلى للسخان.

8- بيانات الإشعاع الشمسى الخاصة بالموقع يلزم توفيرها لتقييم أداء السخان.

المواد للمجمعات الطاقية للهواء ذات اللوح المستوى أو سخانات الهواء الشمسية:

Materials for flat plate air collectors or solar air heaters:

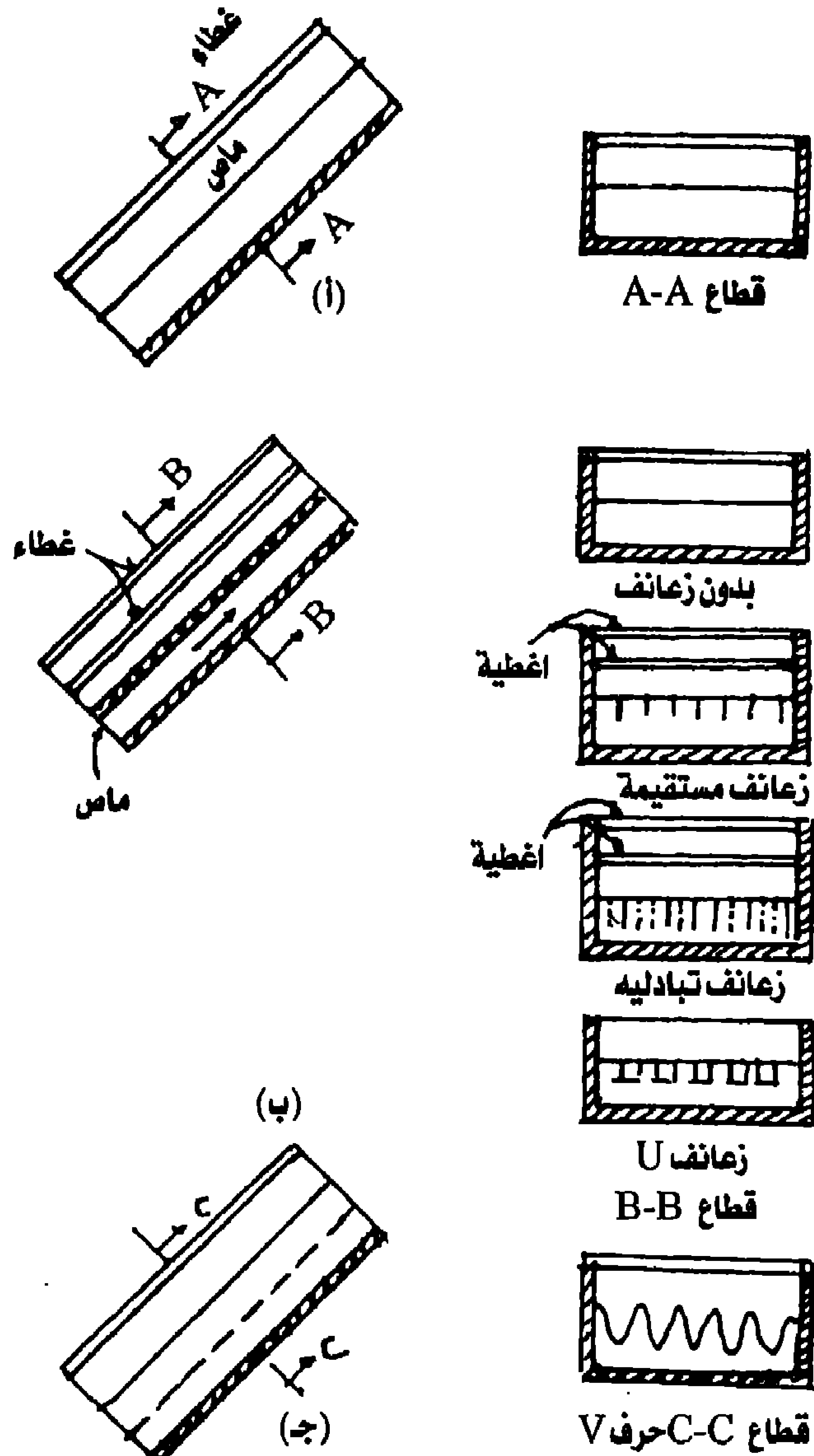
1- الألواح الزجاجية :

2- الخردة المعدنية (قطع صفائح معدنية) ملتصقة مع عارضة قوية، خراطة معدنية، شبك من الصوف الزجاجى (مثل مرشحات الهواء)، الزجاج أو الصخر المطحون، المنسوجات أو حتى الورق. كثيراً من هذه يمكن الحصول عليها بأسعار زهيدة أو كمواد معاد استخدامها، ولكن السطح الكلى يجب أن يكون باللون الأسود، يجب تسخينه مباشرة بواسطة الشمس، كما يجب أن يلتصق مع الهواء المتدفق خلال المجمع.

أنواع السخانات الهوائية : (Types of air heaters)

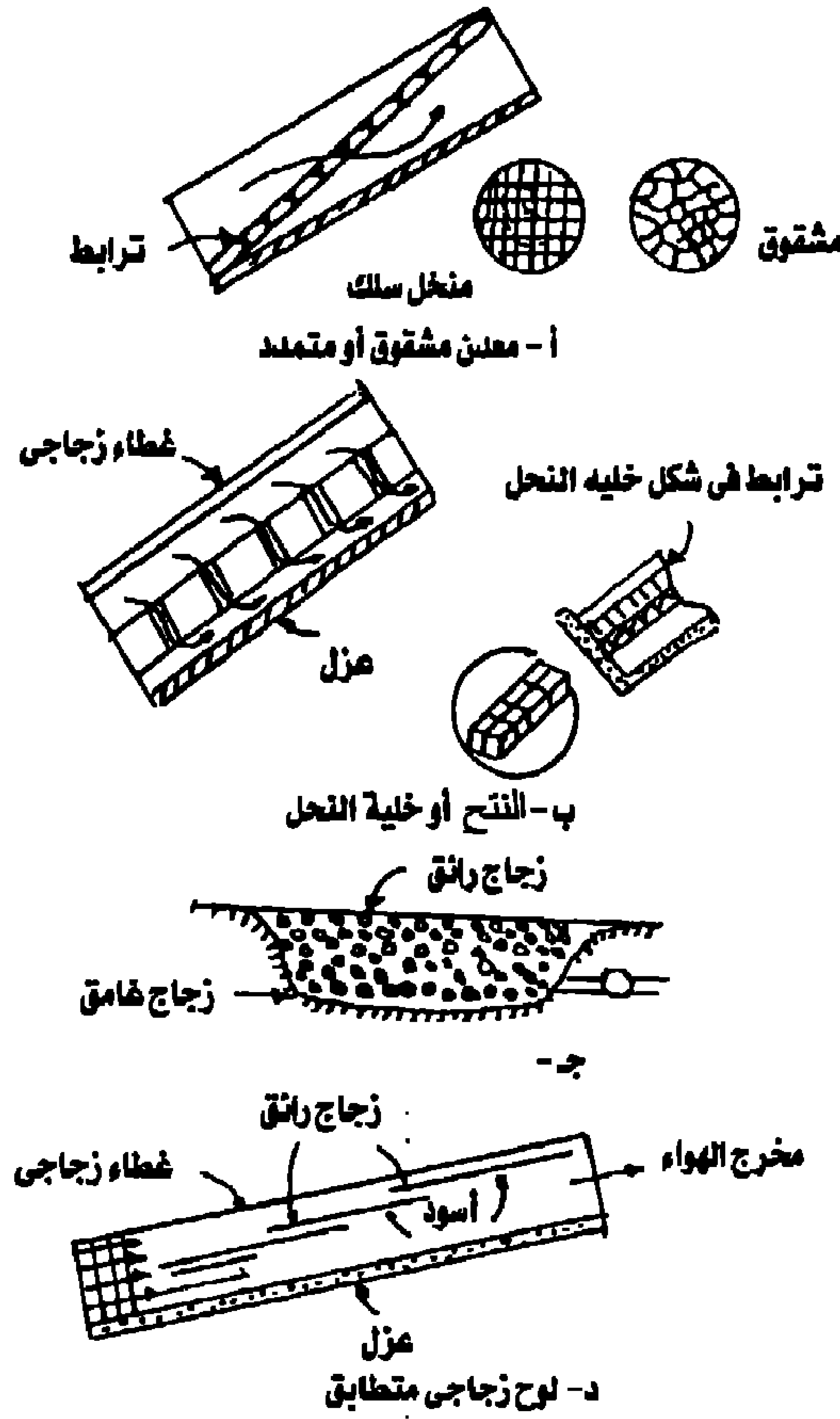
أساساً تنقسم السخانات الهوائية غلى صنفين:

1- الصنف الأول له ماص غير مسامي حيث مسار الهواء لا يسرى خلال اللوح الماص. الهواء يمكن أن يتدفق فوق و/أو خلف اللوح الماص كما هو مبين (شكل 2/6).



شكل (2/6) ماص غير مسامى لتسخين الهواء

2- النوع الثانى له الماص المسامى (Porous absorber) الذى يشمل الطفل، معدن ممدد، رشح خليه النحل، ماص لوح الزجاج المتطابق كما هو مبين فى الشكل (3/6).



شكل (3/6) مخطط لسخانات الهواء من النوع الماص

المجمعات من نوع اللوح الماص الغير مسامى:

Non Porous absorber plate type collectors:

الماص الغير مسامى يمكن تبريده بتيار الهواء المتدفق فوق كلا جانبى اللوح كما هو موضح فى الشكل (2/6-أ) فى معظم التصميمات العادية يتدفق الهواء خلف سطح الامتصاص. تدفق الهواء فوق السطح العلوى يزيد الفقد بالحمل الحرارى من لوح التغطية ولذلك لا يوصى به إذا كانت درجة حرارة دخول الهواء و/أو ارتفاع درجة الحرارة عند الجامع كبيرة كما هو موضح فى الشكل (2/6-ب) . انتقال الإشعاع الشمسى خلال نظام الغطاء الشفاف وامتصاصه يشبه ذلك لنوع مجمع اللوح المستوى بالسائل. لتحسين كفاءة الجمع يمكن استخدام طلاء انتقائى شريطة عدم ارتفاع تكلفته. بسبب معدلات الانتقال الحرارى المنخفضة، فإن الكفاءات تكون أدنى من سخانات السائل الشمسية تحت نفس الكثافة الإشعاعية وظروف درجة الحرارة. تحسين السخانات الهوائية يتم بالآتى:

أ) تخشين مؤخرة اللوح لتنشيط الاضطراب وتحسين معامل الانتقال الحراري بالحمل الحراري أو

ب) إضافة زعانف (Fins) لزيادة سطح الانتقال الحراري. عادة يزداد ذلك الاضطراب الذي يدعم الانتقال الحراري بالحمل الحراري.

المجمع الشمسي ذو تموجات من النحاس في شكل حرف (V) كما في الشكل (2/6)

امتصاص الإشعاع الشمسي يتم تحسينه بسبب خواص السطح المشع وهندسة التموجات، التي تساعد في احتجاز الإشعاع المنعكس.

المجمعات ذات الماصات المسامية:Collectors with porous absorbers

السلبية الرئيسية للوح الماص الغير مسامي هي ضرورة امتصاص كل الإشعاع القادم فوق المساحة المعرضة من طبقة رقيقة فوق السطح، والتي تكون في حدود القليل من الميكرونات. في حالة عدم استخدام طلاء أو تغطية انتقائية فإن الفقد الإشعاعي من لوح الماص يكون كبيراً، لذلك فإن كفاءة المجمع لا يمكن تحسينها. الهبوط في الضغط على طول مسار تدفق الهواء الناتج بين لوح الماص والعزل الخلفي (Rear Insulation) يمكن كذلك أن يكون مانعاً خاصة في حالة إضافة زعانف أو نتوآت (Fins) لزيادة سطح الانتقال الحراري ومعدل الاضطراب. الصعوبة مع الاضطراب هي وجود انخفاض في الضغط خلال المجمع. الأسطح الكثيرة جداً والإعاقات الكثيرة جداً لتدفق الهواء سوف تتطلب مروحة أكبر وكمية أكبر من الطاقة لدفع الهواء. الطاقة اللازمة لهذا تلغي الوفر من استخدام الطاقة الشمسية وخاصة إذا كانت المروحة كهربية وإذا كانت كمية الطاقة التي يتم حرقها في محطة الطاقة لإنتاج طاقة كهربية تكون متاحة.

تلك العيوب يتم التخلص منها في نوع الماص المسامي بطريقتين:

1- الإشعاع الشمسي يخترق إلى أعماق أكبر ويتم امتصاصه بالتدريج طبقاً لكثافة المادة المسامية (Matrix). تيار الهواء البارد والداخل من السطح العلوي للمادة يتم تسخينه أولاً بالطبقات العليا والتي تكون أكثر برودة مقارنة بالطبقات السفلى. تيارات الهواء تسخن عند عبورها لطبقات المادة.طبقات المادة المسامية السفلية تكون أكثر سخونة مقارنة بالعليا، لذلك فإن تدفق الهواء يمكنه نقل الحرارة من المادة. الاختيار الغير صحيح للمادة المسامية والسمك يمكن أن ينتج عنه خفض في الكفاءة حيث طبقات المادة المسامية الإضافية ما بعد الحد الأقصى قد لا تمتص الإشعاع الشمسي وتسخين تدفق الهواء.

2- الانخفاض في الضغط للمادة المسامية يكون عادة أقل من ذلك للماص الغير مسامي مع تدفق خلف اللوح، حيث التدفق لكل وحدة مقطع سيكون أقل كثيراً رغم المادة تـ ق التدفق إلا أن الهبوط في الضغط لماصات المادة المسامية لا

يزال أقل عن ذلك للماصات الغير مسامية. التسخين الشمسى للهواء باستخدام نتج خلية النحل (Transpired Honey-comb) فى الشكل (3/6-ب) محببه كذلك من وجهة نظر انخفاض الضغط حيث مقطع التدفق يكون كبيراً.

لقد اقترح (Whiller) فى عام (1963) طريقة لاستخدام طبقات من الزجاج المفتت لامتصاص الإشعاع الشمسى وتسخين الهواء. الطبقة المسامية الموضحة فى الشكل (3/6-جـ) المصنوعة من طبقات من كسر الزجاجات (القاع أسود والسطح زجاج رائق) يمكن استخدامه سريعاً فى عمليات التجفيف للحاصلات الزراعية بأقل التكاليف. سخان الهواء بلوح الزجاج المتطابق موضح فى الشكل (d-3/6) الذى يمكن اعتباره كشكل من المادة المسامية، رغم أن الاتجاه الكلى للتدفق يكون على طول ألواح الماص الزجاجية بدلاً من كونه خلال الطبقة (Across the matrix). تزداد درجة حرارة اللوح وتيار الهواء بالتدريج على طول استطالة المجمع وخلال من القمة إلى القاع. لذلك، فإن الفقد الحرارى يمكن خفضه كثيراً. الهبوط فى الضغط يكون كذلك أقل كثيراً مقارنة بتصميم لوح الماص المستوى الغير مسامى.

أداء سخانات الهواء الشمسية : Per formance of solar air heaters

أداء سخان الهواء الشمسى هو ناتج الكفاءة الكلية كما فى حالة جامع اللوح المستوى. الغطاء الشفاف فوق لوح الماص الغير مسامى يمكن أن يكون من ألواح الزجاج أو ألواح من البلاستك أو مجموع بينهم.

استخدامات سخانات الهواء الشمسية: Applications of solar air heaters

التسخين باستخدام واحد من المجمعات الحرارية التى سبق وصفها يمكن استخدامه أساساً فى العمليات الآتية:

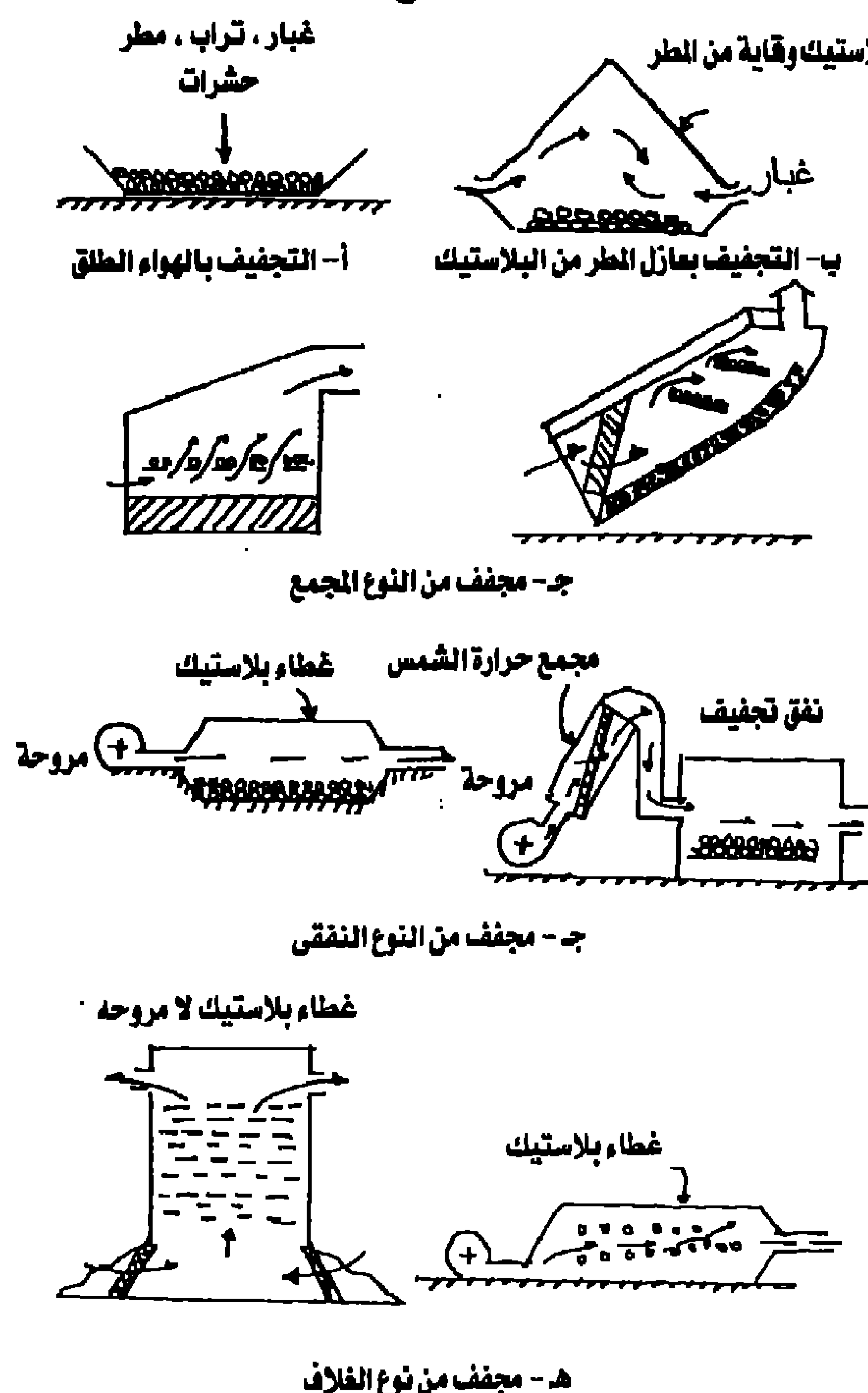
1- التدفئة المنزلية.
2- تكييف الهواء فى المبانى باستخدام طبقات تجفيف (Desiccant beds) أو عملية تبريد بالامتصاص.
3- تجفيف الحاصلات الزراعية والأخشاب.
4- تدفئة الصوبة الزراعية.
5- استخدام سخانات الهواء كمصدر للحرارة للمحرك الحرارى مثل دورة (Branton or strirling).

1- بالنسبة للتدفئة المنزلية، مثل الحجرات، الامتصاص المباشر للإشعاع الشمسى مع استخدام النافذة العمودية على حرارة الشمس (The rmoplane window). استخدام مادة التخزين الحرارى من نوع حرارة الانصهار والتى تعمل درئ حرارى فى الحجرة (Thermal buffer). يستخدم كذلك ملح جلوبر ($Na_2SO_4.10H_2O$) وكومة الصخر (Rockpile) كمجال للتخزين الحرارى. تستخدم كذلك المجمعات الحرارية الشمسية

للتدفئة المنزلية بواسطة الملح ذو درجة انصهار دنيا (Eutectic salt) للتخزين الحرارى. المجمعات تولد الكهرباء خلال خلايا (Cds) بالإضافة لتسخين الهواء. تصميم الماص بالنتوءات والزعانف للسخان الهوائى يكون هو المفضل.

2- لقد اقترح (Dunkle - 1966) تكييف الهواء الشمسى باستخدام طبقات التجفيف. اقتراح آخر هو الحصول على التبريد باستخدام الحرارة السخانات الشمسية الهوائية، فى مولد مكيف الهواء بالامتصاص. درجة حرارة المولد يتم المحافظة عليها عند 95°م.

3- مميزات التجفيف الشمسى مقارنة بالتعرض المباشر للشمس وذلك بالنسبة للحاصلات الزراعية أصبح مقبولاً. المجففات الشمسية يتوقع استخدامها بواسطة المزارعين ذوى المهارات المحدودة واستثمارات صغيرة، لذلك فإن تلك الاقتراحات ستكون بسيطة وغير مكلفة وتستخدم أقل مساحة أرضية. عمليات التجفيف الشمسى الأساسية ومختلف التصميمات المقترحة موضح فى الشكل (4/6).



شكل (4/6) عملية التجفيف الشمسى ومختلف التصميمات للمجفف

المجففات من نوع الإحاطة الكاملة (Totally Enclosed) توفر الحماية من الغبار، والأوساخ ودخول الحشرات وإمكانية إحكام معدل التجفيف. المجففات من نوع الحجرة الصغيرة (Cabinet type) يمكن أن تخدم الاحتياجات الأسرية، بينما الاستخدامات على المستوى الكبير التجارية تلزم استخدام مجففات من نوع النفق أو من نوع الرف (Tunnel Or shelf type). المجفف البلاستك المنفوخ (In flated) هو الأبسط في الإنشاء، ولكن شحن المنتج الرطب، التقليل أثناء التجفيف والتفريغ يمكن أن يكون مشكلة. المجففات من نوع الرف ذات البطانة من البلاستك بدون تدوير بدفع الهواء تستخدم بكثرة فى استراليا.

4- الامتصاص المباشر للإشعاع الشمسى يستخدم فى الصوبة الزراعية (Green House) التى تعمل كسخان شمسى هوائى بدون تدوير للهواء. المصطلح تأثير الصوبة (Green House effect) يشير عادة إلى سخانات الهواء الشمسية، المستخدمة للتزجج الشفاف. هذه الظاهرة كانت لإحكام درجة حرارة الصوبة، الانتقالية للإشعاع الشمسى قصير الموجة خلال تزجج الصوبة وذلك باحتجاز الإشعاع الخارج.

5- استخدام السخانات الهوائية كمصدر حرارى للمحرك الحرارى، والذى يتطلب درجات حرارة فى حدود مائة درجة والتى هى فوق المجال العملى للمجمعات التى تم وصفها. والمقترح هو المجمعات من نوع المركزات (Concentrating type).

تسخين وتجفيف الحاصلات الزراعية:

Heating and drying of agricultural products:

مقدمة :

تجفيف الحاصلات الزراعية تحت أشعة الشمس وذلك بنشرها على الأرض هى الطريقة المتبعة فى عدة أماكن. هذه الطريقة غير مكلفة ولكن لها العديد من السلبيات.

سلبية التجفيف الشمسى بالهواء المفتوح يشمل الطبيعة المتقطعة للطاقة الشمسية خلال اليوم. احتمال التلوث للمحصول بالأوساخ والحشرات، تعرض المحصول إلى عوامل مثل الرياح والمطر، والتى تسبب التلف والفقد والتعرض للطيور. مع اعتبار تلك العوامل، فإنه من الممكن وجود نظم حديثة ومتطورة التى تعطى منتج مباشر ذو نوعية جيدة. التكلفة مرتفعة، ولكن معظمها يحتاج إلى استخدام الطاقة الكهربية لتشغيل المروحة والوقود السائل لتوفير الحرارة اللازمة للتجفيف. توجد محاولة للتركيز على تطوير المجففات الشمسية التى يمكن أن تستخدم فى التجفيف. تلك المجففات كانت للمستوى الصغير حيث يكون زمن التجفيف أقل وتحسين نوعية المنتج النهائى مقارنة بالطريقة التقليدية. أحد الطرق البسيطة لمجمع الطاقة الشمسية هو باستخدام مجمعات اللوح المستوى (Flat plate collectors).الهواء الذى يتم تسخينه يمكن استخدامه فى

تجفيف الحبوب بسرعة وبكفاءة. بعد التجفيف، يتم طحنه والذى يشمل عمليات فرز الحبوب وتبيضها كما فى حالة الأرز ثم فصل الحبيبات السليمة عند الكسر.

متوسط الإشعاع الشمسى الساقط على سطح أفقى فى منطقتنا العربية هو فى حدود من 400 - 700 كالورى/سم2/اليوم. كثافة الإشعاع تتغير طبقاً للمواسم خلال العام ما بين 700كالورى/على السنتيمتر المربع فى اليوم فى فصل الصيف إلى حوالى 300 سعر حرارى على السنتيمتر المربع فى اليوم فى فصل الشتاء. الإشعاع الشمسى للسطح المائل يكون أعلا عن تلك القيم تقريبا. أعمال البحث فى التجفيف الشمسى تم توجيهها فى اتجاهين. الأول، هو العمل فى مجال التجفيف المباشر،حيث يتم تعريض المادة إلى الإشعاع الشمسى وبامتصاص الطاقة وتدوير الهواء، الرطوبة يحدث لها تبخر وتنتشر فى الجو. الوحدة تسمى غرفة المجفف الشمسى (Solar cabinet dryer) وهى وحدة منزلية. التجفيف الثانى يتم تنفيذه بطريقة غير مباشرة باستخدام سخان الهواء الشمسى من النوع الذى يوفر الهواء الساخن لفصل وحدة التجفيف.

هذه يمكن أن تكون مفيدة فى الصناعات الكبيرة التى تحتاج إلى الهواء الساخن. الجمع بين هذين النوعين للتجفيف الشمسى يمكن استخدامه كذلك.

نظرية التجفيف الشمسى : (Theory of solar drying)

المطلب الأول هو انتقال الحرارة إلى سطح المادة الرطبة

أ) بالتوصيل الحرارى من السطح الساخن فى حالة الالتصاق المباشر مع المادة.

ب) التوصيل الحرارى والحمل الحرارى من الشمس.

امتصاص الحرارة بواسطة المادة يوفر الطاقة الضرورية لتبخير المياه منها.

تجفيف المحصول ببساطة خلال تدوير الهواء الجاف نسبياً حوله، يعرف بالتجفيف بدون التبادل الحرارى (Adiabatic Drying). الحرارة اللازمة لتبخير الرطوبة يتم توفيرها بالهواء على المادة الصلبة، حيث تقل درجة حرارة الهواء بينما تزداد درجة رطوبته النسبية. الهواء الذى يترك المجفف يكون عادة مشبع، قريباً من درجة حرارة البصيلة المخضله (Wet Bulb temperature) للهواء القادم. بسبب انخفاض الطاقة الحرارية للهواء مقارنة للحرارة الكامنة العالية للمياه المتبخرة، فإن حجم كبير من الهواء له رطوبة منخفضة نسبياً يجب أن يتم استخدامه فى هذا النوع من عملية التجفيف.

لذلك فإن التجفيف يتضمن كلا من عمليات الانتقال الحرارى، الانتقال المادى فى توقيت واحد. فى التجفيف بالحمل الحرارى، الحرارة اللازمة لتبخير الرطوبة من المنتج يتم توفيرها بالهواء. عملية التجفيف تنقسم إلى تجفيف الطبقة الرقيقة، وتجفيف الطبقة العميقة. تجفيف الطبقة الرقية يشير إلى عملية تجفيف الحبوب حيث تكون كل

الحبوب معرضة لتجفيف الهواء تحت ظروف تجفيف ثانية أى عند درجة حرارة هواء ثابتة ورطوبة ثابتة. عموماً السمك حتى 20سم لطبقة الحبوب يعتبر طبقة رقية.

محتوى الرطوبة وقياسها Moistare content and it's measurement

محتوى الرطوبة لمادة يقدر بالنسبة المئوية للوزن على أساس الرطوبة ولكن محتوى الرطوبة على أساس الجفاف يكون أكثر بساطة لاستخدامه فى الحسابات حيث كمية الرطوبة الموجودة فى أى وقت تتناسب مع المحتوى من الرطوبة (m)، نسبة الأساس الرطب هى:

$$M = \frac{Wm}{Wm + Wd} x100$$

حيث:

Wm = وزن الرطوبة

Wd = وزن المادة الجافة

محتوى الرطوبة M، أساس جاف، نسبة مئوية هو:

$$M = \frac{Wm}{Wd} x100 = \frac{m}{100 - m} x100$$

يمكن كذلك ملاحظة

$$\frac{Wm}{W_1} = \frac{m_1 - m_2}{100 - m_2} = \frac{M_1 - M_2}{100 - M_1}$$

$$\frac{Wm}{W_2} = \frac{m_1 - m_2}{100 - m_1} = \frac{M_1 - M_2}{100 - M_1}$$

حيث :

W1 = الوزن الأول لمادة التجفيف = (Wm+Wd) كيلو جرام

W2 = الوزن النهائى للمادة التى تم تجفيفها.

m2 ,m1 = نسبة المحتوى من الرطوبة الأولية والنهائية على أساس الرطوبة.

M2, M1 = نسبة المحتوى من الرطوبة الأولية والنهائية على أساس الجفاف.

قياس الرطوبة يمكن عمله بالآتى:

1- الطرق المباشرة.

2- الطرق الغير مباشرة.

الطريقة المباشرة تشمل طريقة التجفيف بفرن الهواء (Air Oven) الطريقة الغير مباشرة تشمل طريقة المقاومة الكهربية، حيث يتم قياس المقاومة الكهربية لكمية معلومة

من عينة الحبوب عند درجة معينة من الدمك ومن درجة الحرارة. المقاومة الكهربية تتغير مع المحتوى من الرطوبة، ودرجة الحرارة، ودرجة الدمك. بالمعايرة الصحيحة للجهاز فإنه يمكن قياس المحتوى من الرطوبة. مقياس الرطوبة العالمى يستخدم هذه الطريقة ويقرأ محتوى الرطوبة فى الحبوب مباشرة.

عند تعرض الصلب للإمداد المستمر بالهواء عند درجة حرارة ورطوبة ثابتة وله ضغط جزئى ثابت للبخار مقداره (P)، فإن الصلب إما أن يفقد الرطوبة بالتبخير أو أن يكتسب رطوبة من الجو لحين وصول ضغط البخار لرطوبة الصلب مساوياً للمقدار (P). الصلب والغاز (الهواء) يكونا عندئذ فى حالة اتزان، ومحتوى الصلب من الرطوبة يكون فى حالة اتزان مع الظروف المحيطة والذى يعرف باتزان المحتوى من الرطوبة (Equilibrium Moisture content) ويرمز له بالرمز (E.M.C). (EMC) اتزان المحتوى من الرطوبة يفيد فى تعيين ما إذا كان المنتج سوف يكتسب أو يفقد رطوبة تحت ظروف حالات معينة من درجة الحرارة والرطوبة النسبية. لذلك فإن اتزان المحتوى من الرطوبة يكون له علاقة مباشرة مع التجفيف والتخزين. مختلف المواد لها مختلف اتزان المحتوى من الرطوبة. اتزان المحتوى من الرطوبة يتوقف على درجة الحرارة والرطوبة النسبية للبيئة المحيطة وعلى حالات النضج المختلفة للحبوب.

اتزان المحتوى من الرطوبة يتم تعيينه بطريقتين:

1- الطريقة الاستاتيكية.
2- الطريقة الديناميكية.

فى الطريقة الاستاتيكية يسمح للحبوب لتكون فى حالة اتزان مع هواء المجال المحيط الساكن بدون أى تقليب بينما فى الطريقة الديناميكية عادة يتم دفع الهواء. يتم تعيين اتزان المحتوى من الرطوبة تحت حالات للهواء ذات ثبات للرطوبة النسبية ودرجة الحرارة.

أنواع الرطوبة: (Types of Moisture)

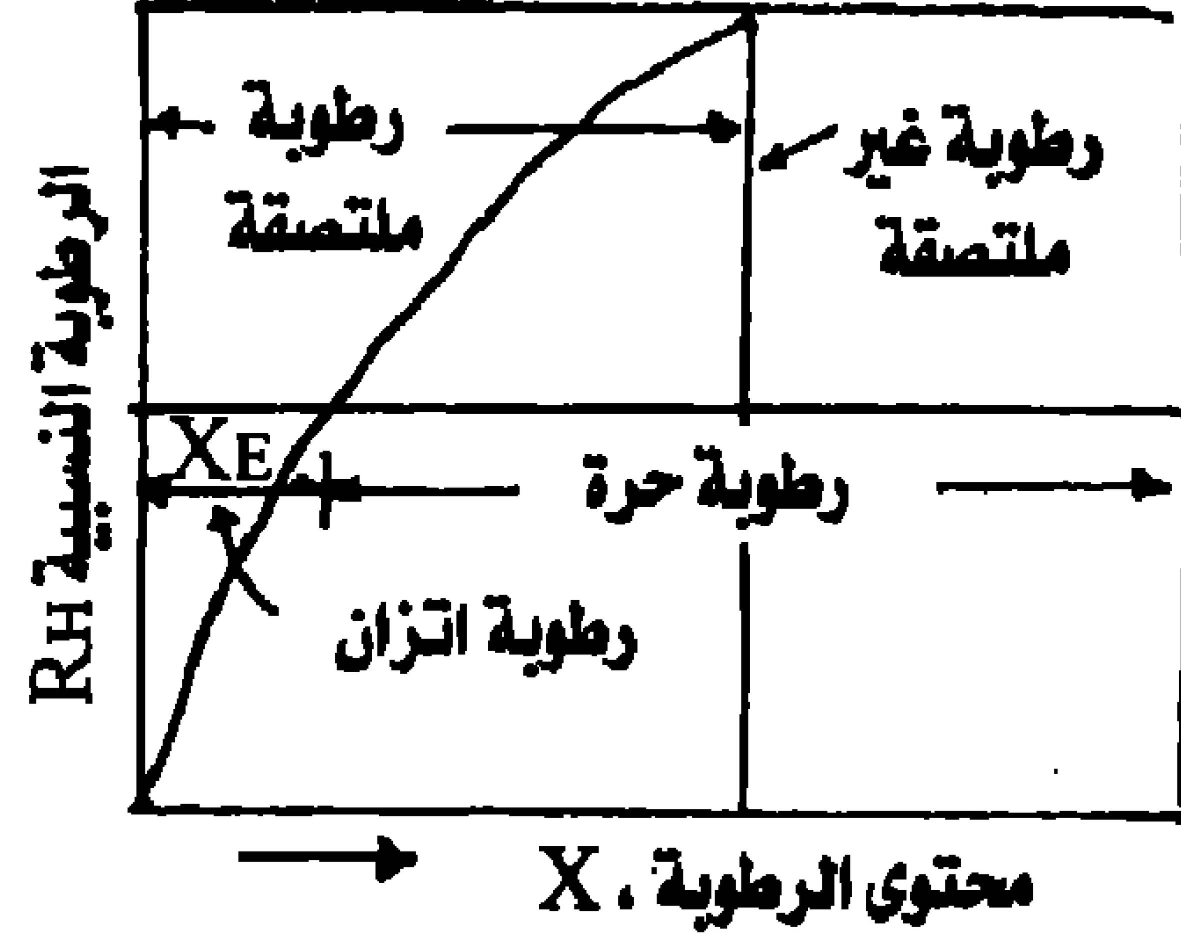
الرطوبة المقيدة: (Bound Moisture)

الرطوبة المقيدة تشير إلى الرطوبة التى تحتويها مادة والتى تنتج اتزان ضغط بخار يساوى لذلك للسائل النقى عند نفس درجة الحرارة.

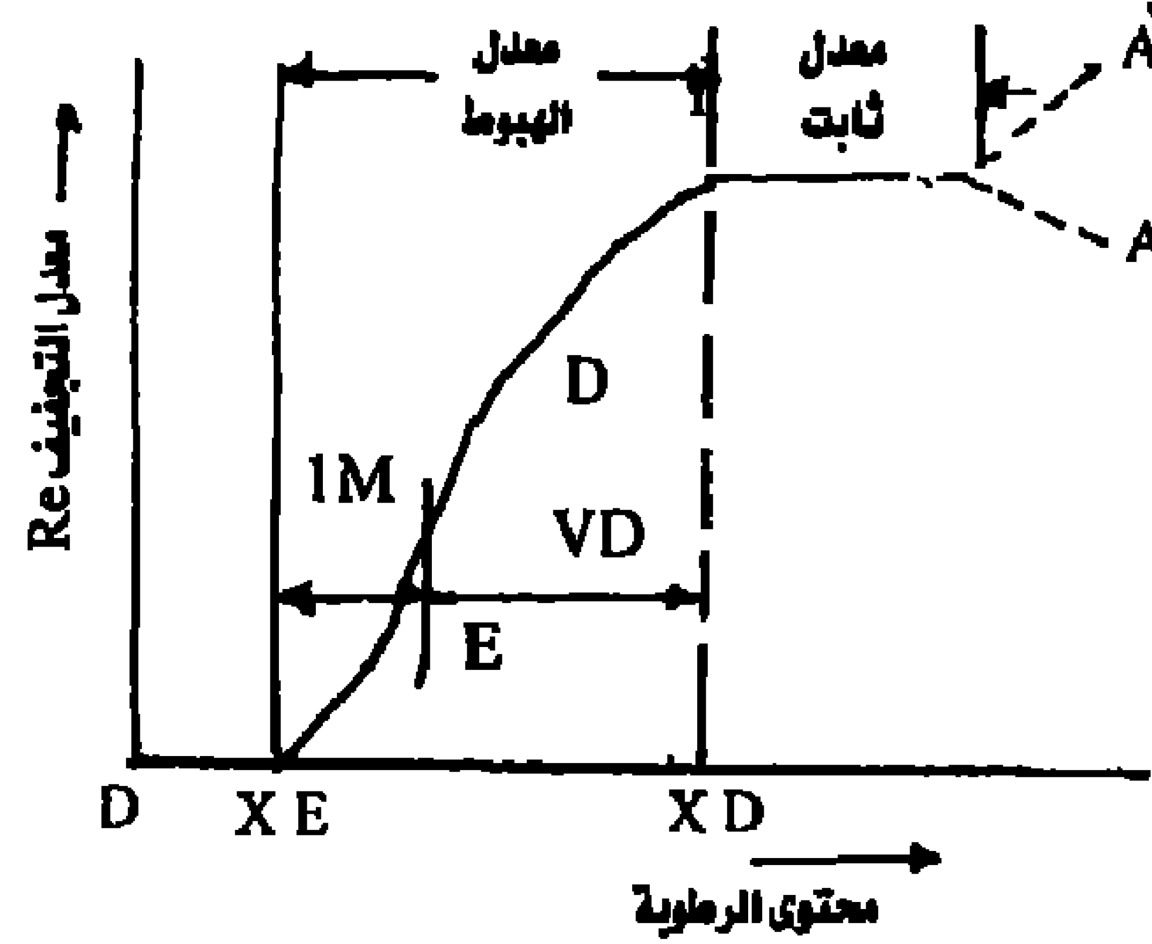
الرطوبة الحرة: Free Moisture

الرطوبة الحرة هى الرطوبة المحتوية فى المادة بما يزيد عن اتزان الرطوبة (Xg - X) حيث الرطوبة فقط يمكن تبخيرها شكل (5/6) العلاقات السابقة الموضحة فى الشكل (5/6) للصلب ذو المحتوى من الرطوبة (X) المعرض للهواء ذو رطوبة نسبية (RH).

منحنى تجفيف مثالى موضح فى الشكل (6/6) الشكل يبين بوضوح أنـه فتـرتين أساسيتين للجفاف، وهما فترة المعدل الثابت وفترة المعدل المتناقص (Constant rate period and falling rate period)

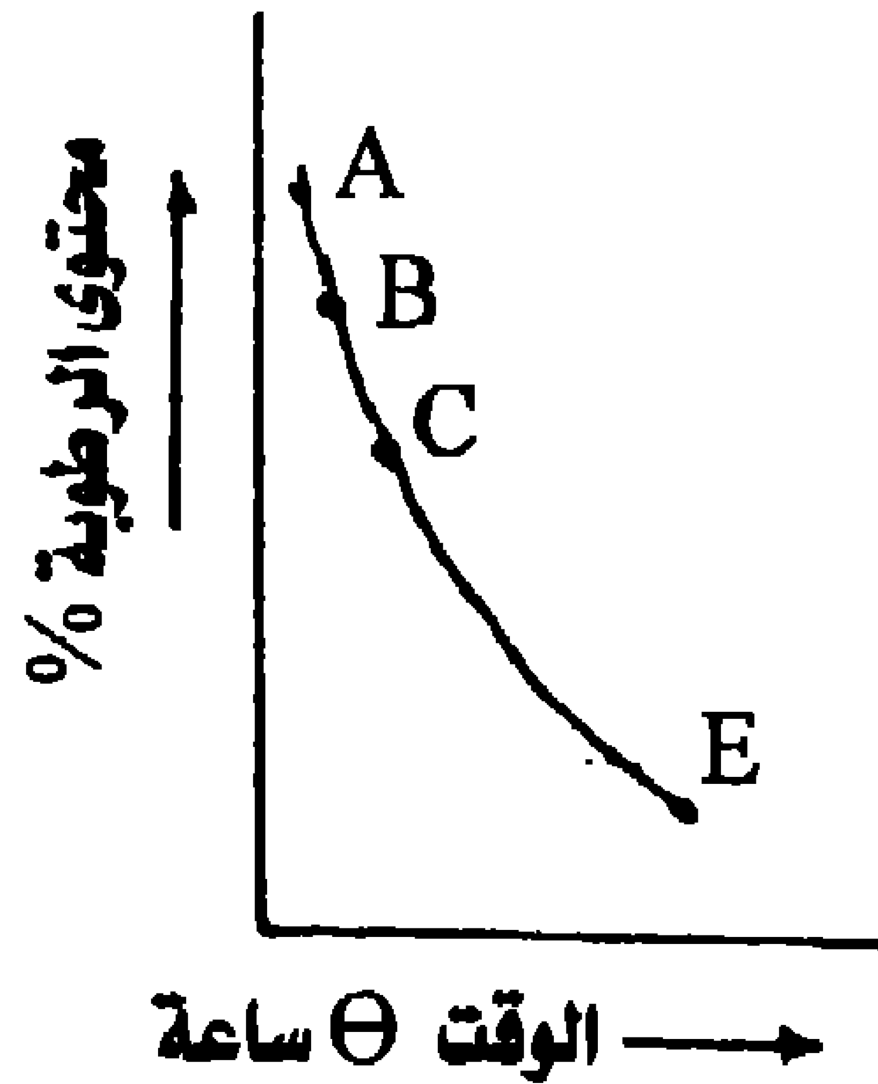


شكل (5/6) لمحتوى الرطوبة X المعرض للرطوبة النسبية RH

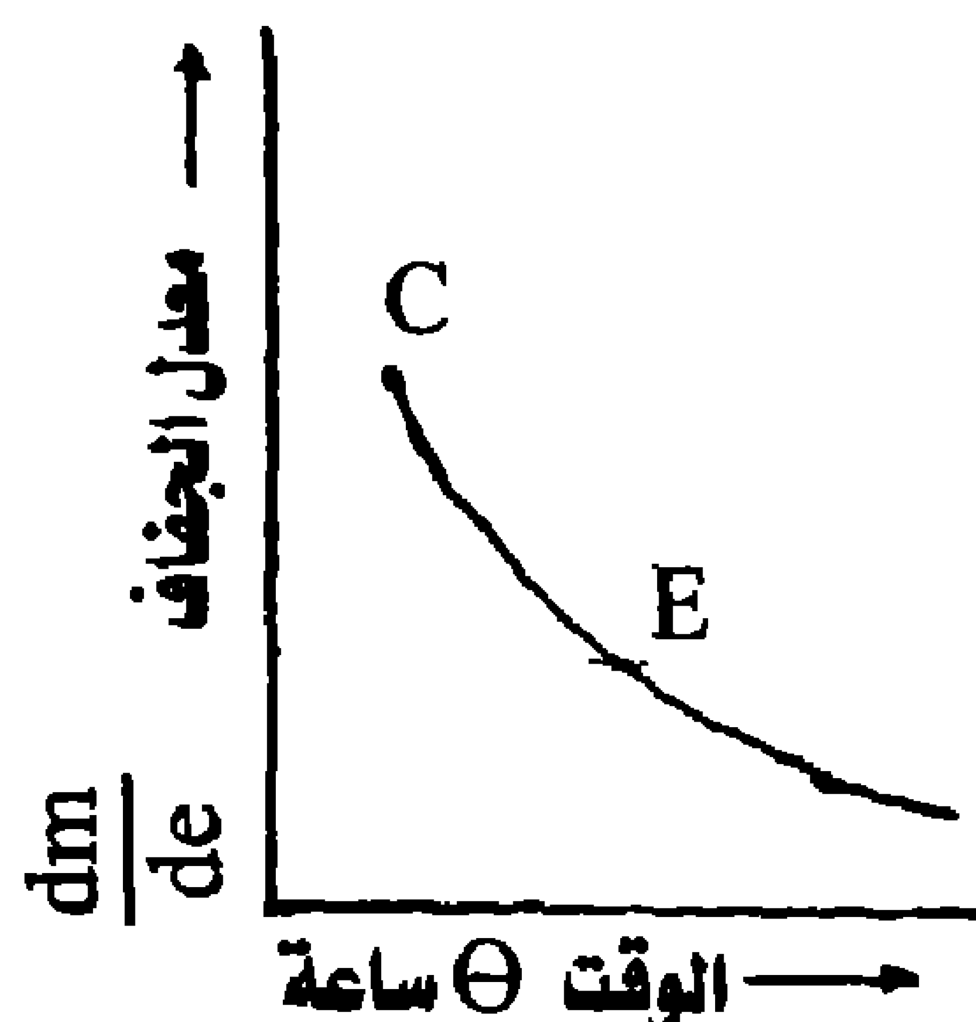


شكل (6/6) فترتين للجفاف وهما فترة المعدل الثابت ، والمعدل الهابط

توقيع محتوى الرطوبة مقابل زمن التجفيف أو معدل التجفيف مقابل زمن التجفيف أو معدل التجفيف مقابل محتوى الرطوبة تعرف بمنحنيات التجفيف، الشكل (6/8-7/8)



شكل (7/6)



شكل (8/6)

فترة المعدل الثابت: (Constant rate period)

بعض المحاصيل مثل حبوب الحنطة (القمح ..الخ) عند المحتوى العالى من الرطوبة يتم تجفيفها تحت فترة المعدل الثابت على الفترة الأولية للتجفيف.

فترة المعدل المتناقص تكون هى التالية. القمح يتم تجفيفة تحت فترة المعدل الثابت، عندما يزيد محتوى الرطوبة عن 72%. فى فترة المعدل الثابت يكون معدل التبخير تحت أى من حالات الهواء المحددة ليس له علاقة بالمادة الصلبة ويكون بنفس معدل التبخير من سطح السائل الحر تحت نفس الظروف.

فترة المعدل المتناقص : (Falling Rate Peroid)

حبوب الحنطة يتم تجفيفها عادة بطريقة فترة المعدل المتناقص. فترة المعدل المتناقص تدخل بعد فترة معدل التجفيف الثابت وتقابل دورة التجفيف حيث كل السطح يكون رطباً والسطح الرطب يقل باستمرار، حتى نهاية هذه الفترة يكون السطح جافاً. السبب فى التناقص فى معدل التجفيف يرجع إلى عدم قدرة الرطوبة لتتحول من مركز الجسم إلى السطح عند معدل مقارن مع تبخير الرطوبة من سطحه إلى المجال المحيط.

فترة المعدل المتناقص تتصف بزيادة درجة الحرارة فىكل من عند السطح وخلال الصلب. بالإضافة إلى أن التغيرات فى سرعة الهواء لها تأثير صغير مقارنة بفترة المعدل الثابت. فترة المعدل المتناقص للتجفيف يتم إحكامها إلى حد كبير بواسطة المنتج ولا تتوقف على حركة الرطوبة خلال المادة من المركز إلى السطح بواسطة انتشار السائل وإزالة الرطوبة من سطح المنتج.

المعدل المتناقص للتجفيف يمكن تقسيمه إلى مرحلتين وهما:

1- جفاف السطح الغير مشبع.

2- الجفاف حيث معدل انتشار الماء خلال المنتج يكون بطيئاً ويكون العامل الحاكم.

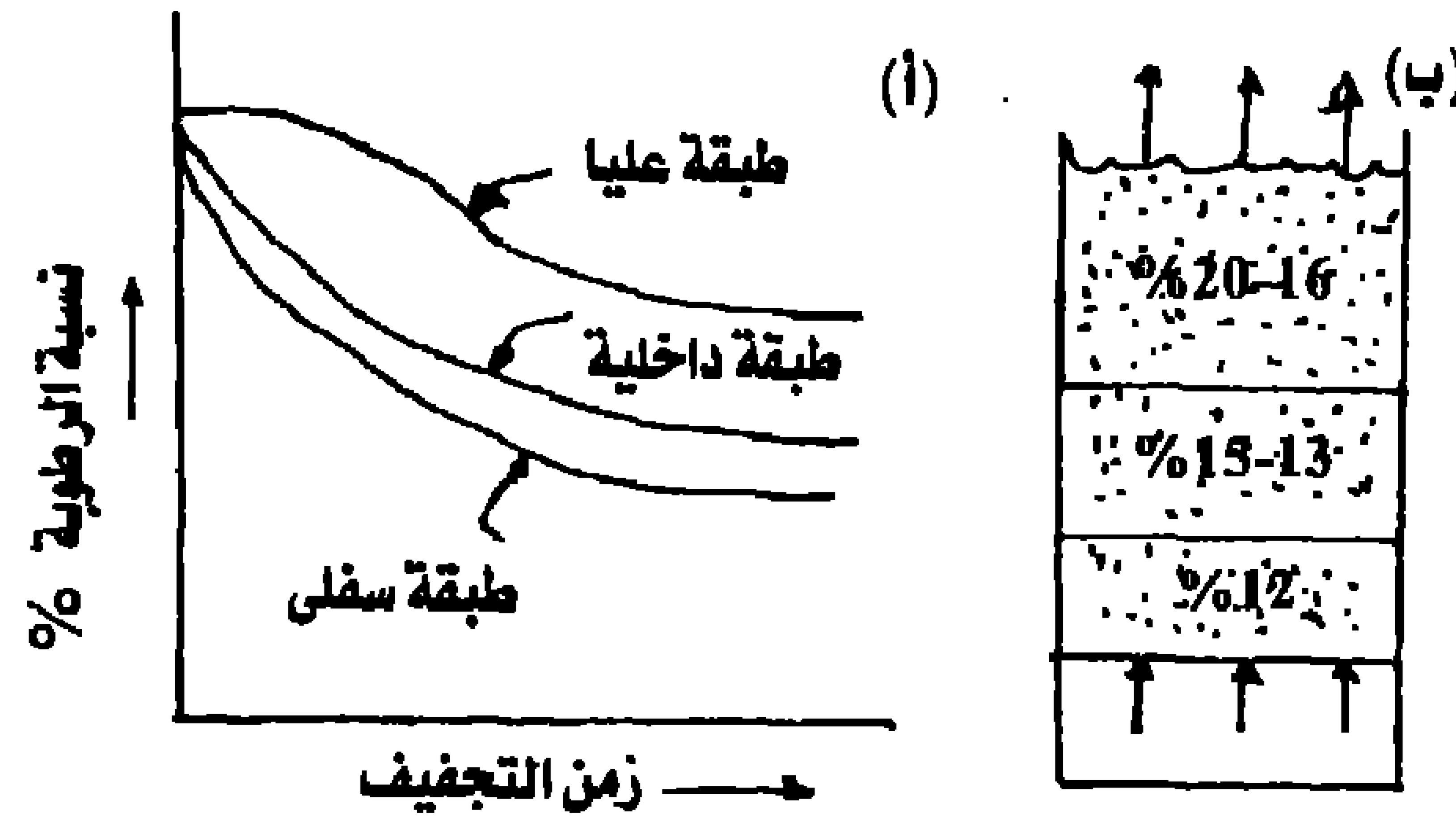
عملياً كل حبوب الحنطة يتم تجفيفها تحت فترة المعدل المتناقص إذا كان المحتوى من الرطوبة ليس عالياً جداً

حركة السائل يمكن أن تعود إلى :

- فروق تركيز الرطوبة.
- قوى السطح.
- انتشار الرطوبة فى المسام.
- الاختلافات فى ضغوط البخار.
- الاختلافات فى درجات الحرارة.
- الاختلاف فى الضغط الكلى.

تجفيف الطبقة العميقة: (Deep Bed Drying)

فى تجفيف الطبقة العميقة ليست كل الحبوب فى المجفف معرضة تماماً إلى نفس حالة تجفيف الهواء. ظروف تجفيف الهواء عند أى نقطة فى كتلة الحبوب تتغير مع الوقت ومع عمق طبقة الحبوب. فوق وأعلا المعدل أو تدفق الهواء فى وحدة الكتلة من الحبوب يكون صغيراً مقارنة بالطبقة الرقيقة لتجفيف الحبوب. حالة التجفيف فى الطبقة العميقة موضح فى الشكل (9/6).



شكل (9/6) منحنى التجفيف

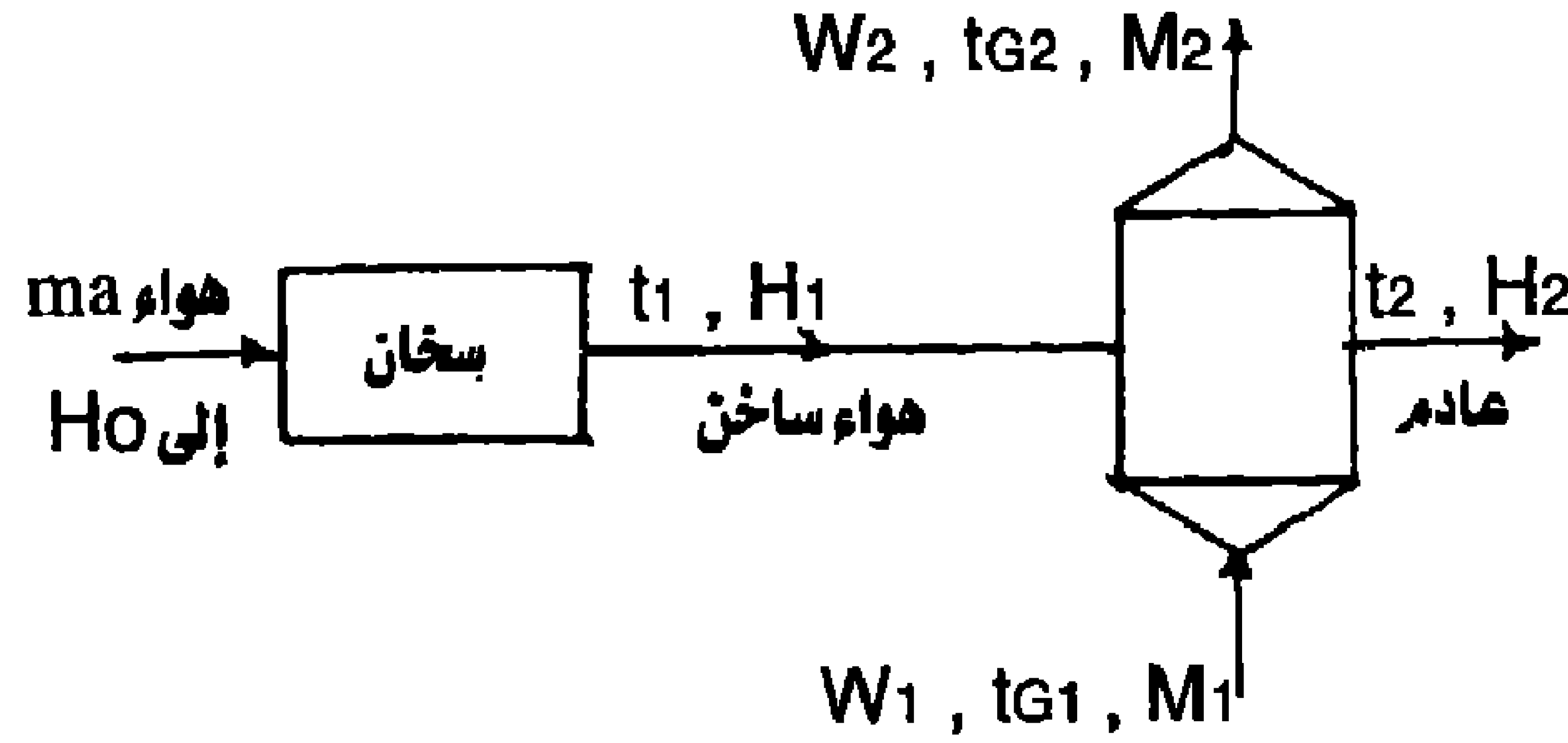
جفاف الحبوب فى صندوق عميق يمكن اعتباره كمجموع للعديد من الطبقات الرقيقة. الرطوبة والجفاف للهواء الداخل والخارج من كل طبقة يتغير مع الوقت طبقاً لمرحلة الجفاف، الرطوبة المزالة من الطبقة الجافة حتى اتزان المحتوى من الرطوبة يتم الوصول إليه. القليل من الرطوبة يزال بالأحرى كمية صغيرة يمكن أن تضاف إلى

المنطقة الرطبة حتى وصول طبقة الجفاف إليها. حجم منطقة الجفاف يتغير مع درجة الحرارة والرطوبة للهواء الداخل، محتوى الحبوب من الرطوبة وسرعة حركة الهواء. الجفاف سوف يتوقف بمجرد أن يصبح المنتج فى اتزان مع الهواء.

الميزان المادى والحرارى فى تجفيف الحبوب :

Mass and Heat balance in grain drying:

بالإشارة إلى الشكل رقم (10/6)



شكل (10/6) الميزان الحرارى والمادى

بالنسبة للميزان المادى: بفرض:

(1) $W = W_1 - W_2$

حيث:

W = وزن الرطوبة المزالة

W_1 = وزن تدفق الحبوب عند المدخل كجرام/الساعة

W_2 = وزن تدفق الحبوب عند المخرج كجرام/الساعة

كمية المادة الجافة الداخلة إلى المجفف

$$= \frac{100 - m_1}{100} x W_1 Kg/hr$$

كمية المادة الجافة الخارجة من المجفف

$$= \frac{100 - m_2}{100} x W_2 Kg/hr$$

ولكن ، $\frac{100 - m_1}{100} x W_1 = \frac{100 - m_2}{100} x W_2$

(2) $W_2 = \frac{100 - m_1}{100 - m_2} x W_1$

مع وضع قيمة W_2 من المعادلة رقم (2) فى المعادلة رقم (1)

$$W = W_1 - W_1 \frac{100 - m_1}{100 - m_2}$$

$$= W_1 \frac{(m_1 - m_2)}{100 - m_2}$$

وبالمثل

$$W = W_2 \frac{(m_1 - m_2)}{100 - m_1}$$

إذا كان (f_d) هو معامل الجفاف، والذى يعرف كالآتى:

$$Fd = \frac{W}{W_1} x100 = \frac{W_1 - W_2}{W_1} x100$$

$$= \frac{m_1 - m_2}{100 - m_2} x100$$

الميزان الحرارى :

$$W_d. C_{pg}. (T_{G2} - T_{G1}) + W_d. X_1 - C_{pw} + W_d (x_1 - x_2) L$$
$$= (ma. 24 + o.54 H_o) (t_1 - t_2)\theta$$

حيث:

Wd = وزن عضم المادة الجافة بالكيلوجرام

Ma = معدل الهواء كجرام/الساعة

θ = الوقت بالساعة

x_1 , x_2 = محتوى الرطوبة (d-b)، عشرى

L = الحرارى الطافية لبخار الماء

H_o = الرطوبة المطلقة للهواء

t_{G1} = درجة حرارة دخول الحبوب

t_{G2} = درجة حرارة خروج الحبوب

C_{pg} = الخزارة النوعية للحبوب

C_{pw} = الحرارة النوعية للماء

معامل استخدام الحرارة: (Heat utilization factor)

طبقاً لأسلوب الانتقال الحرارى، فإنه يمكن طرق التجفيف إلى الآتى:

1- التجفيف بالتوصيل الحرارى (Coduction)
2- التجفيف بالحمل الحرارى (Convection)
3- التجفيف بالإشعاع الحرارى (Radiation)

فى التجفيف بالحمل الحرارى مجال التجفيف (الهواء الساخن) الذى يلتصق مع الحبوب الرطبة يستخدم لإمداد الحرارة وحمل الرطوبة التى تبخرت بعيداً وتنتقل الحرارة إلى الحبوب الرطبة أساساً بالحمل الحرارى. التجفيف بالحمل الحرارى يكون مقبولاً فى تجفيف الحبوب. فيمكن تنفيذه إما باستمرار أو بطريقة مرحلية. المجففات المستمرة بالصوانى، المجففات المستمرة بالمسطحات، مجففات الانتقال الهوائى، المجففات الدوارة كلهم يقعوا تحت النظام المستمر. كذلك يمكن تقسيم التجفيف بالحمل الحرارى إلى:

1- التجفيف فى حالة التميؤ (Fluidized state)
2- التجفيف فى حالة تدفق الطبقة (Spouted bed)
3- التجفيف فى الحالة العادية.

أ- التجفيف بالهواء الطبيعى بدون تسخين.

ب-التجفيف الهوائى بدعم حرارى.

جـ- التجفيف بالهواء الساخن.

التجفيف بالإشعاع الحرارى يكون مبنياً على امتصاص الطاقة الإشعاعية للشمس وتحويلها إلى طاقة حرارية بواسطة الحبوب. التجفيف الشمسى هو كمثال للتجفيف الإشعاعى.

تصميم مجفف الحشوة الشمسية: (Solar paddy dryer)

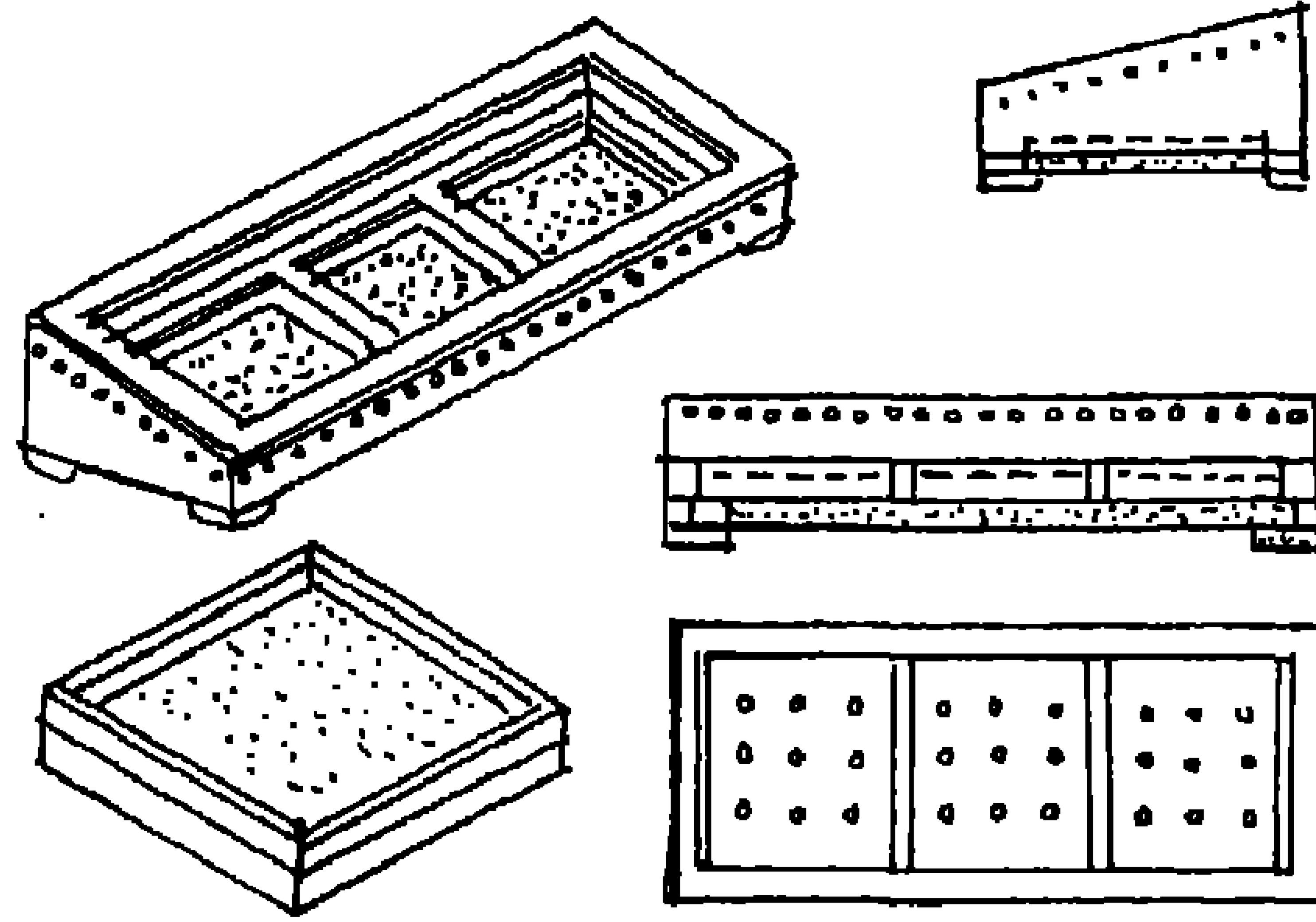
مجفف الحشوة الشمسية يتكون عادة من:

1- جامع شمسى لتسخين الهواء الجوى.
2- نافخ لسحب الهواء خلال الجامع الشمسى ودفع الهواء الساخن خلال المجفف.
3- المجفف لاحتواء العامود الرطب من الحبوب ودخول الهواء الساخن لتجفيف الحبوب.

المجمع الشمسى يمكن أن يكون بتصميمات مختلفة والمجفف يمكن إنشاؤه من تصميمات متعددة ومختلفة. اختيار المجمع الشمسى يعتمد على عوامل مختلفة مثل (1) التكلفة (2) نوع الاستخدام (ما إذا كان فى الصناعة أو فى الزراعة) (3) محمول أو ثابت. المجمعات الشمسية المحمولة تكون منقولة حيث تكون الأماكن فى حاجة إليها. بالمثل اختيار المجفف يعتمد على نوع الحبوب، زمن التجفيف..الخ.

أنواع المجففات المستخدمة: Types of Dryers Inuse

المجففات الشمسية المستخدمة يمكن تقسيمها إلى نوعين: وهما النوع المباشر والنوع الغير مباشر. فى النوع المباشر توجد غرفة المجفف الشمسى. نوع الغرفة من المجففات تم تطويره لتجفيف الخضروات والفاكهة. له غرفة مزودة بطبقة زجاجية علوية مزدوجة، التى خلالها يسقط ضوء الشمس مباشرة على المنتج، حيث يجف، بخار الماء المنطلق ينصرف خلال ثقوب فى أجناب قمة الغرفة، بينما الهواء الطازج يدخل عند القاع. نموذج لمجفف الغرفة مع تفصيلاته موضح فى الشكل (11/6).



شكل (11/6) تفاصيل حجرة المجفف الشمسى

المكونات الأساسية هى:

1- سقف شفاف من طبقة من البلاستك أو الزجاج.

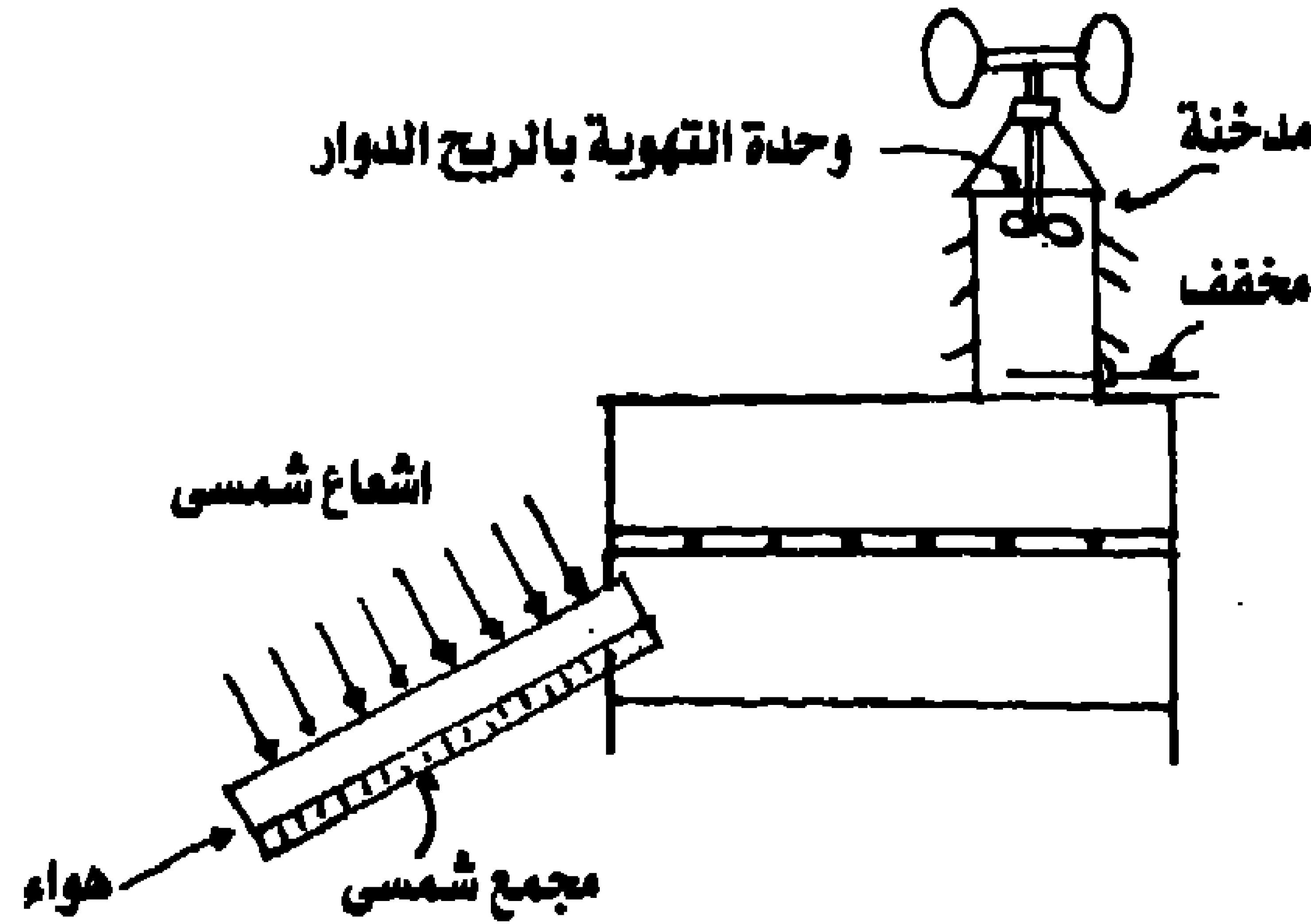
2- إطار عمل النموذج، ..الخ من الخشب أو المعدن للوحدات المحمولة، الطوب والصخر أو الخرسانة للمنشأ الثابت.

3- عزل من نشارة الخشب، أو مصاصة القصب، أو شعيرات جوز الهند.

الإشعاع الشمسى المار خلال الغطاء الشفاف يتم امتصاصه بواسطة المنتج ليجف الداخلى الأسود. هذا يزيد درجة حرارة الغرفة. عندما يهرب الهواء من المجفف خلال الثقوب فى الحوائط ودخول الهواء الطازج إلى المجفف بالحمل الحرارى الطبيعى، فإن تدفق الهواء الذى بدأ يزيل باستمرار الرطوبة من المنتج. التقدم فى التجفيف للحاصلات

يستمر حتى الوصول إلى حالة الاتزان لمحتوى الرطوبة والتى من الطبيعى أن تكـون أقل من محتوى الرطوبة للتخزين الأمن للحاصلات عند درجة حرارة التخـزين. يـتم الحصول فى هذا المجفف على درجات حرارة عالية نسبياً فى حـدود 80^{o}م. الوحـدة تكون بسيطة ويمكن اعتبارها غير مكلفة باستخدام المواد المحليـة المتاحـة والعمالـة المحلية. هذا النوع من المجففات يقلل الوقت الكلى للتجفيف بما يعادل من 2/1 إلى 3/2 مقارنة بتقنية التجفيف الشمسى الطبيعى ونوعية المنتجات المجففة تكـون ذات مـذاق ورائحة جيدة وكذلك الشكل العام يكون أفضل مقارنة بالتجفيف بالشمس الطبيعية.

التصميم المطور المعروف بالمجفف الشمسى برياح التهوية (Solar wind ventilator Drier) الموضح فى الشكل (12/6) حيث فيه بالإضافة إلى التجفيف المباشر ثم تبنى تدوير الهواء الساخن كذلك لزيادة معدل التجفيف. هـذا النـوع مـن المجفف استخدم نوع المجمع الحرارى الشمسى ذو الشبك المثقب. وهو يتكون من لوح صلب قوى من الخشب الصناعى (المطحون)، معزول عند المؤخرة، مركب عليه لوح غطاء من الزجاج أو البلاستك.



شكل (12/6) مجفف بتهوية الريح الشمسى

المجمع يتم تركيبه مع أقصى ميل للحصول على أقصى إشعاع شمسى طبقاً للمكان والفصل من السنة. الهواء المسحوب إلى الداخل خلال الطرف المفتوح للمجمـع يـتم تسخينه بواسطة اللوح الخلفى من الخشب المقـوى الأسـود. الأخيـر يـتم تـسخينه بامتصاص طاقة الإشعاع الشمسى التى تمر خلال الغطاء الشفاف. لزيـادة تـأثيرات المجمع، يمكن وضع شبكة بالطلاء الأسود فى المنتصف ما بين اللوح بالطلاء الأسود وطبقة الزجاج. كلا من الشبكة واللوح الأسود سوف يمتص الطاقة الشمسية بما يـوفر مساحة أكبر للانتقال الحرارى وزيادة الحرارة التى يتم إمدادها للهواء المـار. كفـاءة المجمع بمثل هذا التصميم حققت كفاءة 75%.

مخرج الهواء الساخن للمجمع يكون متصلاً مع قاعدة غرفة المجمع. غرفة التجفيف نفسها يتم إمدادها بمسطحات شفافة على ثلاث أجناب عمودية والجانب العمودى الرابع (الجانب الخلفى) وجانب القاع الأفقى تصنع من ألواح الخشب الصناعى (الحبيبى) المطلى باللون الأسود بالداخل لامتصاص الإشعاع الشمسى الحرارى الساقط عليها والعزل الخارجى لخفض الفقد الحرارى. فوق الغرفة، مهوى الريح الدوار (Rotary wind ventilator) يمكن وضعه على القمة على المدخنة (Stack) أو إطار المنشأ لاقتناص نسيم الهواء وكذلك لخلق حركة هواء خلال تأثير المدخنة.

الأنواع الرئيسية لأنواع أجهزة التهوية التى يتم تشغيلها بالريح المستخدمة هى:

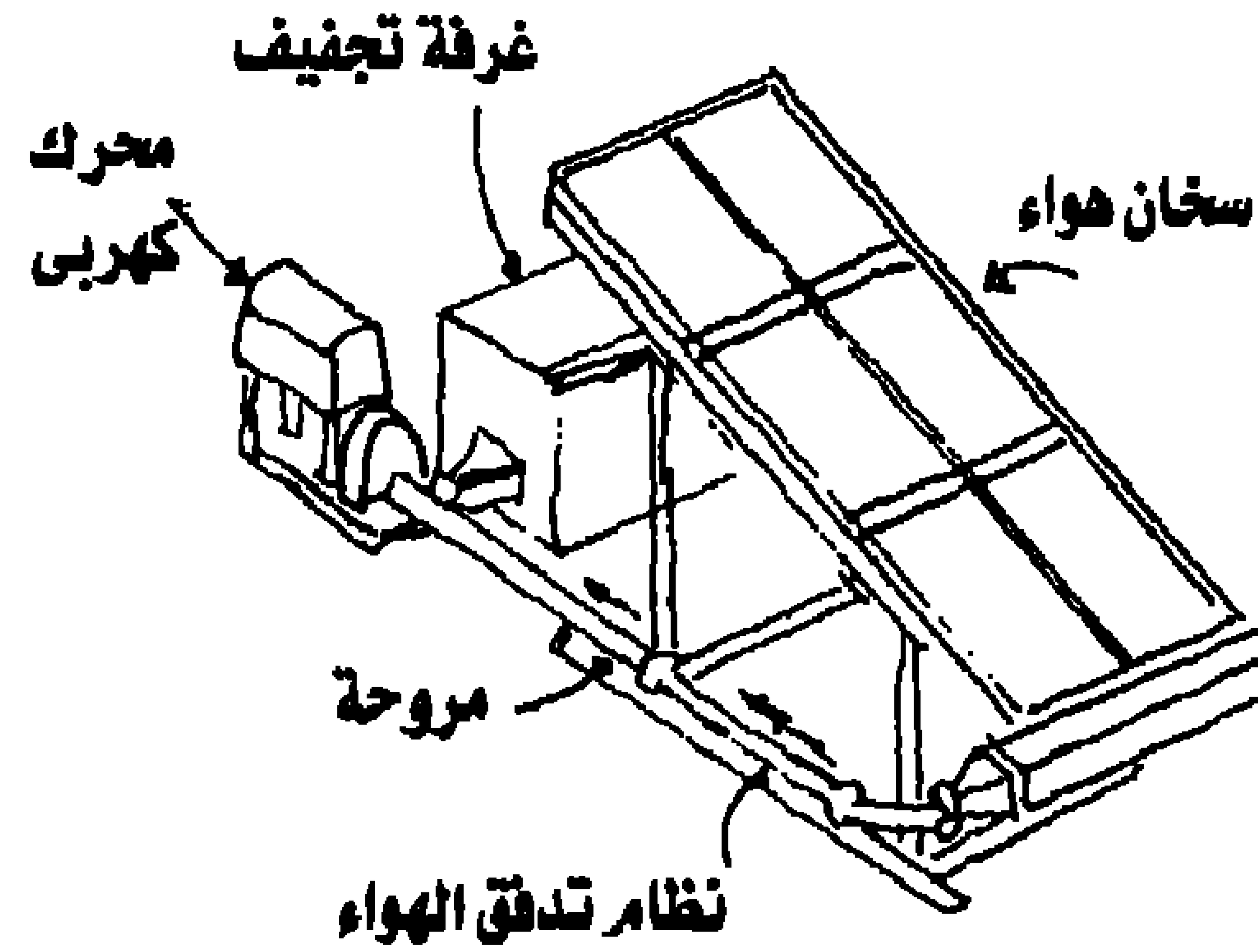
1) الثابت و 2) الدوار. النوع الثابت ليس به أجزاء متحركة. وهو يعمل بأداء الباثق الذى يسحب الهواء إلى داخل المدخنة من المساحة المهواه السفلية. اللفح الطبيعى للمدخنة يكثف أداء الباثق. مثل تلك الأجهزة للتهوية يمكن تصميمها بسهولة للعمل بصرف النظر عن اتجاه اقتراب الريح. جهاز التهوية بالريح الدوار يتكون من ريشه دوار (Rotor vane) التى تدور فى الريح، طاردة الهواء من مدخنة جهاز التهوية. الدوار يتم تركيبه على كرات تحميل العالقة لخفض مقاومة الإحتكاك. لأغراض التجفيف الشمسى عموماً يكون مطلوباً طاقة أعلا للتدفق لجهاز التهوية الدوار. مقطع مدخنة التهوية لكونه أقل من غرفة التجفيف، فإنه يلزم سرعة أعلا للهواء. هذا سيؤدى إلى انخفاض درجات حرارة التجفيف. إذا كان المطلوب درجات حرارة أعلا لتجفيف محاصيل معينة، يتم إنشاء مخمدات (Dampers) فى مدخنة التهويه وذلك لتنظيم تدفق الهواء، بذا إحكام درجة حرارة الهواء الداخل إلى المجفف. عند تصميم مثل هذه النظم، يجب الحرص نحو وجود أدنى فقد باحتكاك الهواء فى المدخنة وعند أجزاء الدخول والخروج لنظم مواسير مسارات الهواء.

أساساً كل المجففات الشمسية يمكن تقسيمها إلى (أ) مجففات الحمل الحرارى الطبيعى (ب) المجففات بالحمل الحرارى عنوه. مجففات الحمل الحرارى الطبيعى لا تحتاج إلى طاقة ميكانيكية أو كهربية لتشغيل المروحة. مجففات الحمل الحرارى عنوة تحتاج إلى استخدام مروحة أو نافخ لضخ الهواء خلال المنتج. المروحة أو النافخ يستخدم لاستمرار المعدل المطلوب للتدفق خلال المنتج الجارى تجفيفه. توجد متغيرات كثيرة لمثل هذه المجففات.

المجفف الشمسى من النوع الغير مباشر : (Indirect type solar dryer)

سيتم مناقشة نوعين من التصميم الغير مباشر وهما:

لتجفيف كتلة من المحصول عالية الرطوبة فى المجفف الشمسى المستخدم موضح فى الشكل (13/6).



شكل (13/6) مجفف شمسى للأرز عالى الرطوبة

المكونات المختلفة للمجفف هى سخان الهواء، مواسير الهواء ونافخ للهواء وغرفة تجفيف الحبوب. مجمع اللوح المستوى المستخدم لتسخين الهواء له كفاءة 60% وارتفاع فى درجة حرارة المجال المحيط 13°م. المحصول الحديث حصاده يمكن تجفيفه ويمكن أن يستغرق 7 -8 ساعات ليصل المحتوى من الرطوبة من 30% غلى 16% بعد تجفيف الحبوب، فإنه يمكن اختبار نوعية الطحن. استخدام السخان الهوائى الشمسى لتجفيف الحبوب يبين أن ارتفاع درجة حرارة الهواء بمقدار ° 10 - 15 م يكون كافياً لخفض الرطوبة النسبية للهواء إلى 60% أو أقل والذى يكون مناسباً لتجفيف حبوب الحنطة.

إلى المحتوى الآمن من الرطوبة لتخزين 500 كجرام من المحصول يمكن تجفيفه من 30 إلى 40% من محتوى الرطوبة فى فترة 6 ساعات فى اليوم المشمس باستخدام تدفق الهواء بمعدل 4 متر مكعب/ الدقيقة، مع ارتفاع فى درجة الحرارة من ° 10 - 8 م.

المجفف الشمسى يتكون من سخان الهواء، نافخ للهواء، غرفة تجفيف، نظام توزيع الهواء ونظام تخزين الطاقة (غير موضح فى الشكل). الهواء الذى يتم تسخينه يتم نفخه إلى غرفة التجفيف بواسطة النافخات (Blowers) من نوع الطرد المركزى لتداول كمية كبيرة من الهواء. نوع الدفعة الواحدة على دفعات (Batch type) أو نوع التدفق المستمر لغرفة التجفيف ينتج صناعياً الإشعاع الضرورى لخفض الرطوبة. الهواء الساخن من المجمع يتم امتصاصه بواسطة النافخ خلال ماسورة الدخول حيث يدفع نحو غرفة التجفيف. نظام التسخين الإضافى لتعزيز متطلبات الطاقة يمكن تنظيمه. هذا النوع من النظم الإضافية ونظام التخزين الحرارى لجمع الطاقة الزائدة خلال النهار، لمراعات العمليات الليلية.

الحرارة المطلوبة (Q) بالكيلو كالورى/الساعة

$$Q = V \times P \times Cp \times \Delta T$$

حيث :

V = معدل تدفق الهواء متر مكعب/الساعة

P = كثافة الهواء، كجرام/متر مكعب

Cp = الحرارة النوعية للهواء

ΔT = ارتفاع درجة الحرارة

تقدير المحتوى من الرطوبة لكل طن من كتلة الحاصلات (m) لتجفيف الحاصلات قبل الغليان، ينتج حجم من الهواء يلزم تداوله (V) من.

الكفاءة × $V \times P \times Cp \times \Delta T$ = (حرارة كامنة) m × Latent Heat

حجم الصخر اللازم (V^1) للتخزين الحرارى للطاقة الحرارية D هو:

$$V' = \frac{Q}{p'C'P\Delta T'}$$

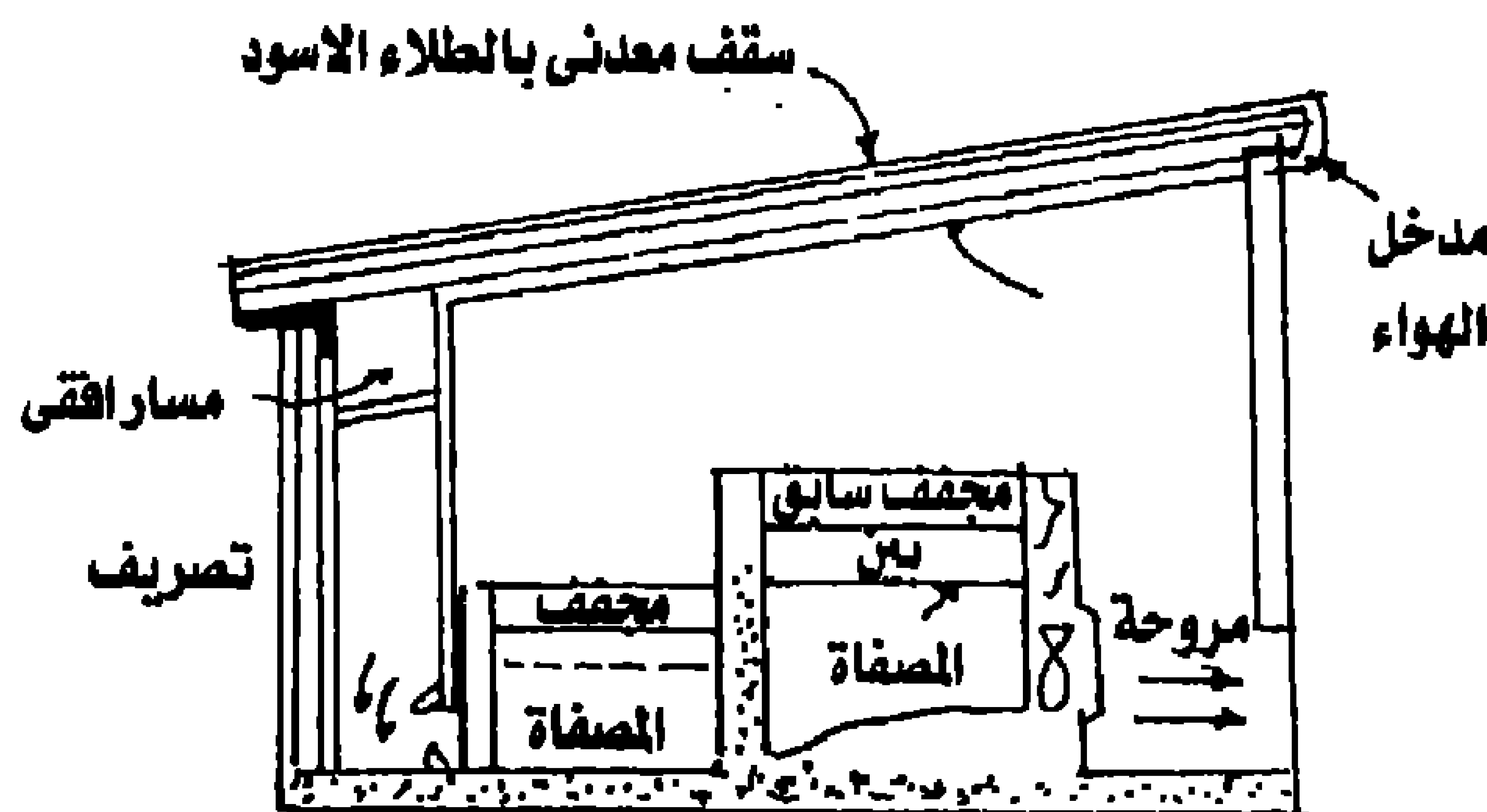
حيث :

P' = كثافة الصخر

Cp' = الحرارة النوعية للصخر

$\Delta T'$ = ارتفاع درجة الحرارة فى الصخر

نوع آخر من تصميم المجفف الشمسى الغير مباشر الموضح فى الشكل (14/6) والذى يصور استخدام مجمعات الحرارة الشمسية لتجفيف البن. فى هذا المجفف الذى يحقق النوعية اللبن، حيث يقل المحتوى من الرطوبة من حوالى 55% إلى 12% (بالوزن). عملية التجفيف هذه تتم عادة فى يوم تقريباً حيث تتطلب من 8 - 24 ساعة.



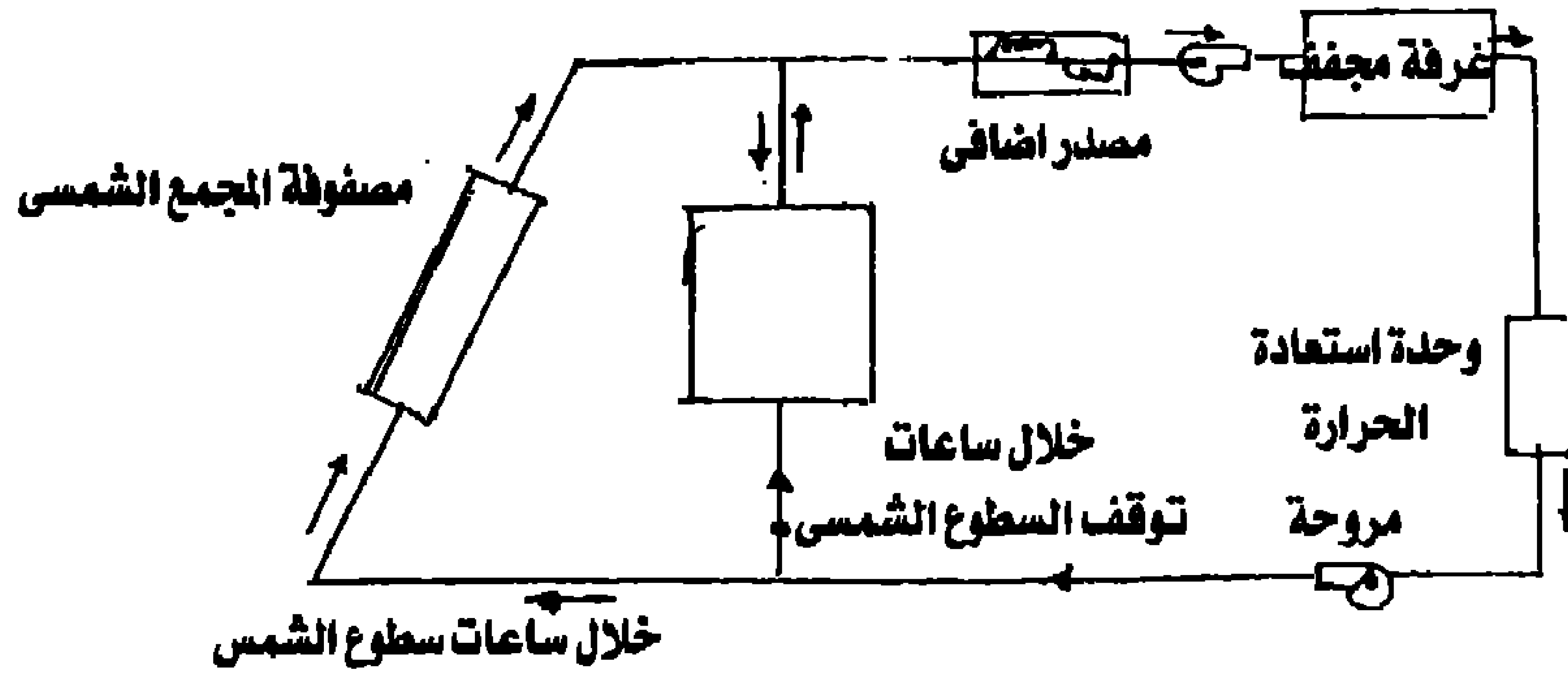
شكل (14/6) مجفف البن بالهواء الساخن بالتسخين الشمسى الغير مباشر

فى أحد التصميمات لمجمعات الحرارة الشمسية يكون إنشاؤه كجزء من سقف وحدة تصنيع البن. بالإضافة، يتم توفير سخانات كهربية أو بالوقود السائل لتوفير الهواء الساخن، لإمكان التجفيف خلال فترات السطوع الضعيف للشمس. السقف يتم إنشاؤه بممر للهواء بعمق 3 بوصة بين المسطح المعدنى للسقف وسطح القاع. السطح الخارجى يتم طلاؤه بطلاء الاسفلت الأسود. السقف يكون له ميل نحو الجنوب. المساحة المؤثرة للمجمع الشمسى هى 600 قدم مربع.

عملية تجفيف البن تتم على مرحلتين – التسخين المسبق والتجفيف. فى المرحلة الأولى يوجد المجفف المسبق (Pre-drier)، المكون من صندوق ضحل 5.5'، 6.5'، حيث القاع مصنوع من شبك السلك المحمول بواسطة أسقف صلب أو معدن ممدد. متصل بغرفة الهواء أسفل الصندوق يوجد مروحة ذات التدفق المحورى بقطر 18 بوصة تعمل بواسطة محرك قدرته 1.5 حصان. حبوب البن المغسولة يتم إدخالها أولاً فى المجفف المسبق. المرحلة الأخيرة للتجفيف تتم كذلك فى صندوق ضحل 5.5' × 6.5'. فى هذا المجفف، ثم استخدام محرك بقوة 1.5 حصان لتشغيل مروحة بقطر 18 بوصة ذات التدفق المحورى لمواجهة تصاعد الهواء الساخن إلى أعلا خلال طبقة الحبوب. يتم إنشاء أربع من شريط الزعنفه الكهربية له طاقة حتى 1300 وات فى ماسورة تدفق الهواء فوق التيار بالنسبة للمروحة. لذلك فإن الهواء كان يتم تسخينه مع مروره خلال سقف المجمع الشمسى وحرارة إضافية كان يتم إمدادها بواسطة عناصر التسخين الكهربى.

المجفف المسبق يحتوى بن ذو غلاف جاف خلال 2 - 3 ساعة. كذلك المجفف المسبق يقوم بعمل التخزين المؤقت، حيث البن الرطب يمكن أن يظل مع التهوية المتقطعة حتى يكون المجفف جاهزاً للإمتلاء. الهواء المستخدم فى المجفف المسبق لا يتم تسخينه.

من وجهة النظر الصناعية للتجفيف، فإنه يمكن استخدام المصدر التقليدى للطاقة مع سخان الهواء الشمسى لمدة 24 ساعة عمل. مخطط أحد مثل هذه الوحدات موضح فى الشكل (15/6).



شكل (15/6) مخطط لطريق التجفيف الغير مباشر

المكون الأساسى لهذه الوحدة (1) سخان الهواء الشمسى (2) النافخ (3) وحدة الطاقة الإضافية (4) وحدة التخزين.

وحدة التخزين يتم توفيرها للاستفادة من الطاقة الشمسية الزائدة خلال ذروة ساعات الإشعاع وتوصيلها إلى الهواء العادى خلال انخفاض الإشعاع أو عدم وجوده. نظام التخزين المستخدم عادة هو طبقة من الصخر للتخزين. استعادة الحرارة يمكن كذلك أن يتم تضمينها.

يوجد العديد من استخدامات المجفف الشمسى مثل تجفيف الخشب، تجفيف المياه المحتويه على مواد معدنية، كذلك يمكن استخدامه فى الصناعة كما فى حالة صناعة منتجات الألبان.

مخطط مقياس الرطوبة واستخدامه فى تجفيف الحاصلات :

Psychrometric chart and it's use in crop drying:

معظم الحاصلات الزراعية يتم تخزينها قبل الاستخدام حيث يلزم تجفيفها، وذلك تجنباً للحفاظ عليها من الحشرات والفطريات التى تعيش فى الظروف الرطبة، بما يتلف تلك الحاصلات، مثال لذلك، القمح، الأرز، البن، الخشب. تناول تجفيف الحبوب والحاصلات الأخرى تكون مشابهة. كل عمليات تجفيف الحاصلات تشمل انتقال الماء من الحاصلات إلى الجو المحيط، لذلك فإنه يلزم أولاً كمية المياه التى يمكن أن ينقلها الهواء فى شكل بخار ماء.

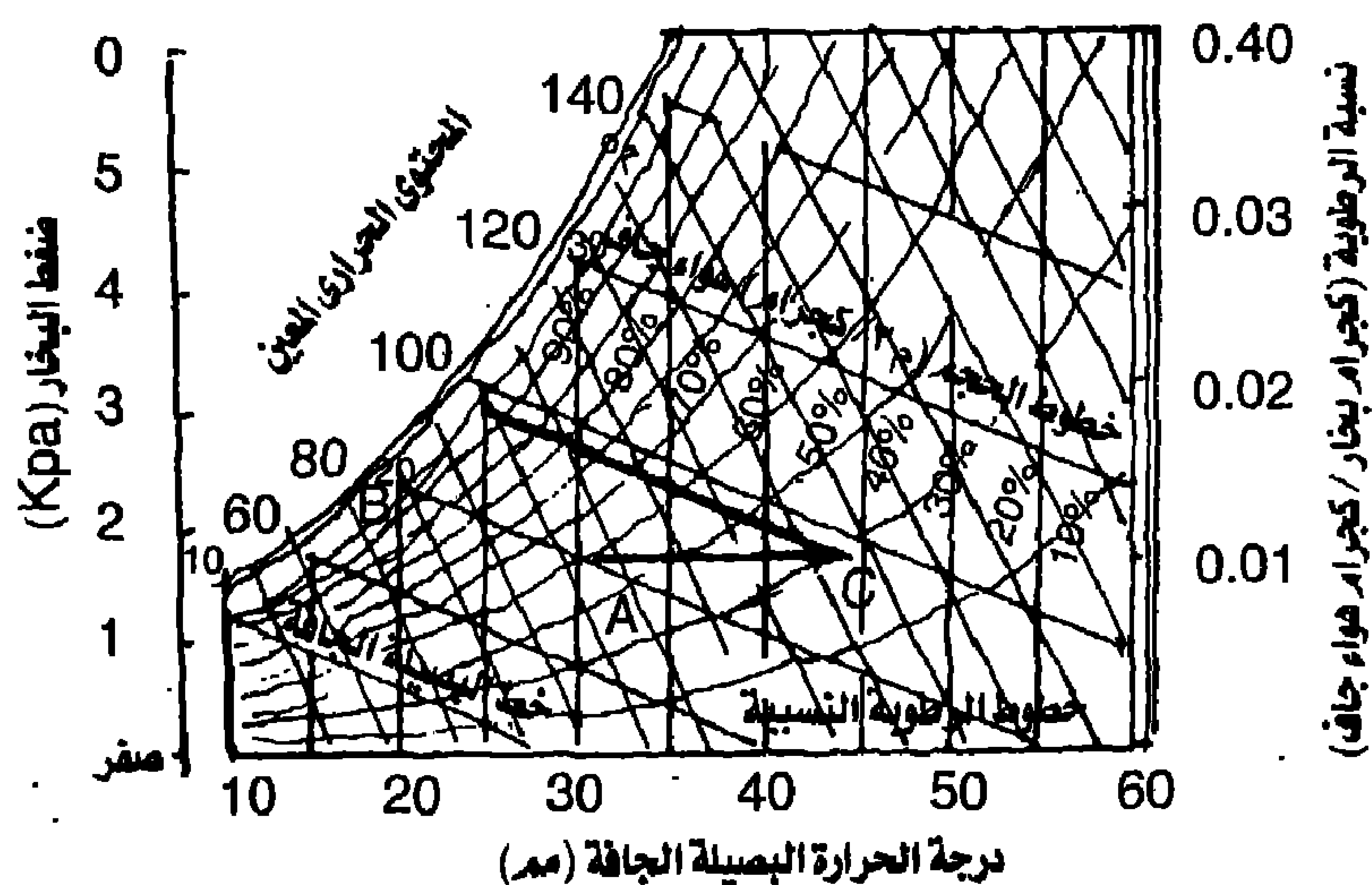
بخار الماء والهواء:

الرطوبة المطلقة (Ho) أو تركيز البخار هو كتلة بخار الماء فى متر مكعب واحد من الهواء. عند درجة حرارة معينة (T)، عند محاولة زيادة الرطوبة المطلقة أو تركيز البخار، إلى ما بعد التشبع (كما فى حالة نفخ البخار).

فإن سائل الماء يتكثف. تتوقف رطوبة التشبع (Hs) إلى حد كبير على درجة الحرارة. توقيع رطوبة التشبع (أو مقياس آخر له علاقة بالرطوبة) مقابل (T) يسمى مخطط مقياس الرطوبة (Psychrometry). نسبة الرطوبة المطلقة ورطوبة التشبع (Hs/Ho) يسمى الرطوبة النسبية (RH)، وتتراوح من صفر% (حيث الهواء تام الجفاف) إلى 100% (حيث الهواء المشبع). مقاييس أخرى كثيرة للرطوبة يتم استخدامها.

التجفيف هو ظاهرة معقدة. يتوقف عدد كبير من المعايير أكثر ثمانية هامة للخواص الحرارية الحركية للهواء الرطب هي:

1) ضغط البخار 2) الرطوبة النسبية. 3) نسبة الرطوبة. 4) درجة حرارة البصيلة الجافة. 5) درجة حرارة نقطة الندى. 6) درجة حرارة البصيلة الرطبة 7) المحتوى الحرارى (Enthalpy). 8) الحجم النوعى. العلاقات التجريبية متاحة والتى يمكن استخدامها لحساب كل من المعايير السابق ذكرها. وهذه عملية شاقة. المخططات الخاصة المعروفة بمخططات مقياس الرطوبة متاحة حالياً. تلك المخططات تبين الخواص الحرارية الحركية (Thermodynamic) للهواء الرطب. أحد تلك المخططات موضح فى الشكل (16/6).



شكل (16/6) مخطط لقياس الرطوبة للضغط عند 101.35 كيلوبار مع عملية التجفيف الموضحة

فى حالة تغير احد المعايير فإنه يمكن ملاحظة تأثيره على المعايير الأخرى من هذا المخطط. المعيار الأكثر أهمية لعملية التجفيف هو ضغط التشبع الذى يعتمد على درجة الحرارة. عملية التجفيف يمكن شرحها بمساعدة مخططات قياس الرطوبة كالآتى:

بفرض أن الهواء ليس مشبعاً (ولتكن درجة حرارة البصيلة الجافة 30^oم ودرجة حرارة البصيلة الرطبة 20^oم). وسمح له بالمرور فوق المادة. بعد ذلك لا يتم إمداد حرارة خارجية للنظام. الحرارة الملموسة للهواء والمادة يتبادلا للحرارة الكامنة لتبخر الماء. نقطة البداية على المخطط ستكون هى النقطة (a) عند 30م مساوية لدرجة حرارة البصيلة الجافة. بالنظر إلى المخطط خلال هذه العملية نسبة الرطوبة (كجرام بخار على كجرام هواء جاف) قد تغيرت من 0.0115 إلى 0.0140 أى حوالى 0.0036 كجرام من البخار لكل كجرام من الهواء الجاف يتم امتصاصه خلال هذه العملية. الآن عند استخدام الطاقة الشمسية فإن الهواء يتم تسخينه إلى 45^oم مع رطوبة نسبيه مقدارها 17% ويمر فوق مادة التجفيف. أثناء عملية التجفيف، يتم تبريد هذا الهواء بدون التبادل الحرارى على طول خط البصيلة الرطبة 24^oم. النسبة النهائية للرطوبة التى تقابل النقطة (D) هى 0.0198 بينما نسبة الرطوبة الأولية هى 0.0114. لذلك الرطوبة التى تم تبخيرها بالهواء الساخن ستكون 0.0075 كجرام من البخار لكل كجرام من الهواء الجاف والذى غالباً يكون ضعف الماء الذى تبخر مقارنة بحالة عدم تسخين الهواء.

جدول (1/6) المحتوى الأولى والمحتوى النهائى من الرطوبة لمختلف المحاصيل

مسلسل	الحاصلات /حبوب/ فاكهة/ خضروات	المحتوى الأولى من الرطوبة %	المحتوى النهائى من الرطوبة %
1	الحنطة والحبوب	30 - 13	12-10
2	بذور الزيت	14-12	9-7
3	الخضروات	80-60	12-10
4	الفاكهة	90-60	12-10
5	أوراق الشاى	50	8
6	مصاصة قصب السكر	60-40	8
7	حبيبات البن	50	12

يجب ملاحظة أن المحتوى من الرطوبة للمنتج فى وقت الحصاد له أهمية كبيرة من وجهة نظر التجفيف حيث اتزان المحتوى من الرطوبة يعتبر معيار هام من وجهة

نظر التخزين. الجدول السابق يبين المحتوى الأولى من الرطوبة والمحتوى النهائى من الرطوبة الذى يوصى به لمختلف المواد الغذائية لفترة طويلة وللتخزين الآمن. جفاف مادة الغذاء هو أولاً عملية ذات درجة حرارة منخفضة حيث درجات الحرارة العالية من المحتمل أن ينتج عنها إتلاف المادة الغذائية ومذاق الغذاء. القيم الموصى بها لدرجات حرارة التجفيف لمختلف أنواع المواد الغذائية موضحة فى الجدول التالى. الدراسة لدرجات الحرارة هذه يكشف لماذا أن الطاقة الشمسية تعتبر أكبر مصدر مناسب للطاقة فى عملية التجفيف. من المعروف أن تجميع الطاقة الشمسية يكون عند أقصى كفاءة عند درجة حرارة حتى 70°م. بينما استخدام الوقود التقليدى فى مجالات درجة الحرارة المنخفضة هو الطريقة الأكثر كفاءة لاستخدام مصادر الطاقة ذات الدرجة العالية تلك. ثم تطوير أنواع مختلفة من المجففات فى عدد من المعاهد للاستخدام خاصة للحاصلات الزراعية. تلك المجففات استخدمت فى تجفيف الحبوب، مختلف أنواع الفاكهة والعديد من الخضروات. طاقة تلك المجففات تتراوح من عدد قليل من الكيلو جرامات فى اليوم إلى عدد قليل من الأطنان فى اليوم.

جدول (2/16) أفضل درجة حرارة لتجفيف الفاكهة والخضروات

الخضروات	أفضل درجة حرارة °م	الفاكهة	أفضل درجة حرارة °م
كرنب	65 - 60	تفاح	65-60
قرع عسلى	70 - 65	مشمش	60 -55
جزر	70 - 65	موز	55 - 50
قرنبيط	65 - 60	عنب	85 - 65
ثوم	60 - 55	خوخ	70 - 60
بامية	70 - 65	كمثرى	65 - 60
بصل	65 - 60	رمان	60 - 50
بسلة	65- 60	بلح	80 - 60
بطاطس	65 - 60	* لأغراض زراعة الحبوب يجب عدم الزيادة عن 45°م، * زهور العطور 45°م	
سبانخ	70 - 65		
لفت	55 - 50		
فلفل	45 - 40		
تبغ	35 - 30		
شاى	35 - 30		

المجففات للحاصلات الزراعية يمكن كذلك أن تكون من نوع التدفق عنوة (Forced flow) والذى يشمل استخدام نافخ الهواء لدفع الهواء خلال المجمعات (Collectors) وغرفة التجفيف ومن نوع الحمل الحرارى الطبيعى حيث لا يتم استهلاك طاقة كهربية. من الواضح أن النوع الأول من المجففات يمكن استخدامه للمخرجات الكبيرة بينما الآخر يكون استخدامه فى الأماكن البعيدة، حيث يمكن تجفيف كميات صغيرة من الفاكهة والخضروات. مجففات التدفق عنوة تستخدم مجمعات اللوح المستوى لجمع الطاقة الشمسية وتسخين الهواء بواسطة الطاقة الشمسية التى يتم تجميعها. يمكن رفع درجة حرارة الهواء الساخن إلى 60 - 70^o م طبقاً لمتطلبات المنتج المطلوب تجفيفه. تلك المجمعات يمكن تركيبها على أى مواجهة جنوبية، بدون إعاقة نحو الشمس أو السقف الغير مستخدم فى أغراض أخرى.الأسقف التى تحتوى المجمعات تم اقتراحها ومحاولتها فى عدد من الأماكن. هذا عمل على خفض تكاليف الإنشاء للنظم الشمسية.

محتوى المحاصيل من المياه : (Water content of crop)

نسبة المحتوى من الرطوبة (على أساس الجفاف) لعينة من الحبوب تعرف بالآتى:

$$m = \frac{W - Wd}{Wd} = \frac{Wm}{Wd}$$

حيث :

W = الكتلة الكلية للعينة كما تكون

Wd = كتلة المادة الجافة فى العينة

سوف نستخدم هذا التعريف لمحتوى الرطوبة (على أساس الوزن الجاف) والذى هو معيار الحرج (Forestry).

فى مساحات أخرى من الزراعة، محتوى الرطوبة على أساس "الوزن الرطب" يمكن استخدامه كذلك

$$m_1 = \frac{Wm}{Mm + Wd} = \frac{m}{m+1}$$

تعيين (Wd) يتطلب الحرص ويتم قياسه فى المعمل طبقاً للطرق القياسية للقياس وذلك لكل نوع من الحبوب أو الحاصلات. (بالنسبة للخشب (Wd) يمكن تعيينها بتجفيف العينة فى فرن عند 105^oم لمدة 24 ساعة). درجة الحرارة ووقت التجفيف "كتلة جفاف بالفرن" محدودة ذلك ليتم تفادى حدوث أى تغيرات كيميائية. بعض من

المياه المرتبطة قد تظل بعد هذه العملية. كذلك من المهم التحقق من أن تلك درجات الحرارة المحدودة لتجفيف الحاصلات تكون للتخزين لذلك، فإن المنتج لا يتشقق ويسمح بعدوانية البكتريا. فى حالة الترك لمدة طويلة كافية، فإن رطوبة الحبة سوف تفقد المياه فى المجال المحيط حتى وصول الحبوب إلى حالة الاتزان مع محتوى الرطوبة (me). (me) تتوقف على الحاصلات وخصوصاً درجة الحرارة والرطوبة للهواء المحيط. بالنسبة للأرز فى الهواء عند 30^{o}م ورطوبة نسبيه 80% (لمساحة نمو الأرز النموذجية) me = 0.16.

لاحظ أن عملية التجفيف ليست متجانسة. كثيراً من الرطوبة الموجودة فى المحصول تكون فى شكل "الماء الحر" والذى يكون عالق بطريقة مفككة فى ثقوب الخلية، ولذلك يفقد سريعاً بعد الحصاد. الماء المتبقى (عادة 30 - 40%) يكون مرتبطاً بجدار الخلية بأربطة الهيدروجين (Hydrogen Bonds)، ولذلك يصعب إزالته. من المهم أن تجفف الحبوب بسرعة فى خلال أيام قليلة من الحصاد، ذلك لأن الفطر (Fungi) ينمو جيداً فى حالة الحبوب الرطبة أو الرطبة جزئياً.

ميزان الطاقة ودرجة حرارة التجفيف:

Energy Balance and temperature for drying:

فى حالة مرور الهواء الغير مشبع فوق مادة رطبة، فإن الهواء سوف يأخذ الماء من المادة، كما سبق توضيحه فى الفصل السابق. هذا الماء يتم تبخيره، والحرارة لعمل هذا تأتى من الهواء ومن المادة. لذلك فإن الهواء يبرد. تحديداً، فى حالة تبريد حجم (V) من الهواء من (T1) إلى (T2) فى وجود كتلة متبخرة من الماء (Mw)، عندئذ :

$$Mw \times Lv = PCpV\ (T1 - T2)$$

حيث :

Lv = الحرارة الكامنة لتبخير الماء

P ,Cp = الكثافة والحرارة النوعية للهواء عند ضغط ثابت وعند درجة حرارة متوسطة، للاختلافات المتوسطة فى درجة الحرارة.

المشاكل الأساسية فى تصميم مجفف الحاصلات لذلك فهو لتعيين (V) (T1) لمناسبة لإزالة كمية محدودة من الماء (Mw). درجة الحرارة (T1) يجب أن لا تكون مرتفعة جداً، ذلك لأن هذا سوف يسبب تفتت الحبوب وبذلك من البكتريا والطفيليات من الدخول.

جدول (3/6) بخار الماء فى الهواء

	ضغط البخار المشبع Pv (KN/m^2)	كتلة الماء فى 1م3 من الهواء (Ho) (الرطوبة المطلقة) جرام/م3
صفر	0.61	4.8
10	1.23	9.4
20	2.34	17.3
30	3.24	20.3
40	7.38	51.2
50	12.34	82.9
60	19.9	130.0
70	31.2	197.0
80	47.4	219.0
90	70.1	-
100	101.3	-

الحسابات الصحيحة جداً سوف تسمح بالتغير فى الحرارة الكامنة، الكثافة، والرطوبة للهواء الخارج، ولكن النتيجة ستكون هى نفسها، التجفيف بالمعدل الكبير يتطلب مرور أحجام ضخمة من الهواء الساخن الجاف. التجفيف بالحمل الحرارى عنوة (Forced convection) موضوع معقد، والتجفيف بدون تدفق الهواء عنوة أكثر تعقيداً وخاصة إذا كان وقت التجفيف ودرجات الحرارة محدودين.

مثال :

تم حصاد الأرز عند محتوى من الرطوبة = 0.28. الظروف المحيطة هى30^oم، 80% رطوبة نسبية، التى عندها (me) (أى اتزان المحتوى من الرطوبة) = 0.16 للأرز.

إذا كان عند 30^oم، 80% رطوبة نسبية كان كتلة الماء (H_2O) فى 1 متر مكعب من الهواء المشبع = 30.3 جرام/المتر المكعب (من الجدول السابق) أحسب كمية الهواء عند 45^oم التى تكون مطلوبة لتجفيف 1000 كيلو جرام من الأرز.

المعطيات :

2.4 MI/Kg at 30^oC = Lv

1.15KJ/m3, = P

1.0 KJ/Kg°K = Cp

الحل :

نسبة المحتوى من الرطوبة (على أساس الجفاف) (m) لعينة من الحبوب كالآتى:

$$m = \frac{Wm}{Wd} x100$$

$$m = \frac{W - Wd}{Wd} = \frac{Wm}{Wd}$$

$$\frac{Wm}{Wd} = m + 1$$

حيث :

W = الكتلة الكلية للعينة "كما هى"

Wd = كتلة المادة الجافة فى العينة

عندئذ W/Wd = 0.28 + 1 = 1.28

المعطى W = 1000 كجرام

لذلك الكتلة الجافة للأرز $Wd = \frac{1000}{1.28} = 7.8Kg$

كتلة الماء (μw) اللازم تبخيرها تكون لذلك كالآتى:

Mw = Wd (m - me) = 780 (0.28 0- 0.16) = 94Kg

بالنسبة للهواء الرطب الذى يترك المجفف وجدت درجة حرارة الخروج من جدول بيانات الرطوبة كالآتى:

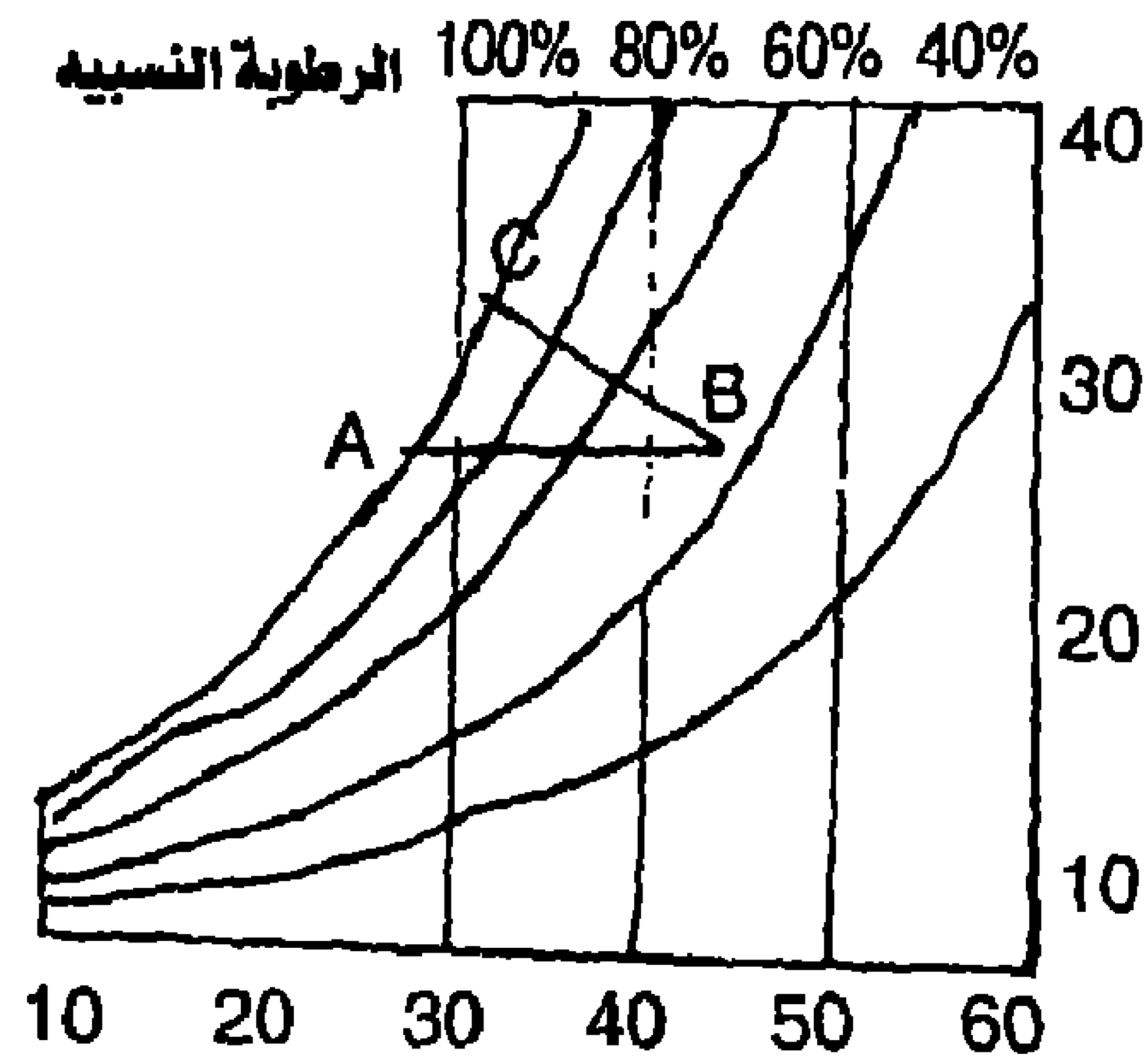
الرطوبة النسبية) RH =	Ww	=	كتلة بخار الماء
	Ws		كتلة بخار الماء المشبع

الرطوبة المطلقة هى كمية الماء الحقيقية الموجودة فى 1 متر مكعب من الهواء

.. الرطوبة المطلقة = 0.8 × 30.3 جرام/م3

= 24.2 جرام/م3

النقطة (A) على الشكل (17/6)



شكل (17/6) مخطط قياس الرطوبة للضغط القياسى 101.5 كيلو نيوتن/متر مربع

فى حالة إهمال التغير الصغير فى الكثافة، فإن هذا سوف يكون كذلك رطوبة مطلقة لنفس الهواء بعد التسخين 45^oم (النقطة B). الرطوبة النسبية ستكون بطبيعة الحال منخفضة. بعد المرور خلال الأرز، فإن الهواء الخارج سوف يصير رطباً. إذا كانت الظروف طبقاً للشكل (17/6) مخطط قياس الرطوبة، فإن الهواء الخارج عند (C)، ودرجة حرارته سوف تكون حوالى 30^oم.

من العلاقة $Mw\ Lv = PCpV\ (T1 - T2)$

نحصل على $V = \dfrac{MwLv}{PCP(T_1 - T_2)}$

حيث Mw = 94 كجرام

P عند 30^oم = 1.15 كجرام/م3

Cp = 1.0 Kj/Kg/^{o}K

T2 = 45^oم

T1 = 30^oم

$V = \dfrac{94x2.4}{(30-45)x1.0x1.15} = 13 \times 10^3$ متر مكعب

طريقة تصميم نوع المجفف الشمسى المبنى على الحمل الحرارى عنوة:

Design procedure for solar based forced convection type drier:

سيتم تناول الاعتبارات النظرية للتصميم النظرى الكامل للمجفف الشمسى المبنى على تجفيف الفاكهة والخضروات بالحمل الحرارى عنوة (Forced convection).

متطلبات التجفيف مثل المحتوى من الرطوبة الأولى والنهائى للمنتج المطلوب تجفيفه، أفضل درجة حرارة ومعدل تدفق للهواء اللازم للتجفيف، المعاملات المناخيـــة ومــواد الإنشاء التى تؤثر على المجفف الشمسى تلك، ذلك سيتم مناقشته.

طريقة التصميم خطوة بخطوة للمجمع باللوح المستوى بطاقة مماثلة سيتم تناولها.

تصميم سخان الهواء يتوقف على:

1) متطلبات التجفيف للفاكهة والخضروات.

2) المعاملات المناخية.

3) توفر مواد الإنشاء.

1) متطلبات التجفيف:

هذا هو الأهم من بين كل ما يتضمنه درجة الحرارة ومعدل تدفق الهــواء لمنــتج معين مطلوب تجفيفه. يوصى بمجال مختلف لدرجة الحرارة لمختلف الحاصلات ولكن معدلات تدفق الهواء المقابلة ليست هناك. يجب الحرص نحو تجنب الصلابة السطحية. لذلك فإن الهواء يجب أن يكون له معدل تدفق طاقى الذى يمكن من إزالة الرطوبة فى وقت محدد. وهو يتضمن محتوى الرطوبة الأولى والنهــائى للمحــصول وحرارتــه النوعية. معظم الفاكهة والخضروات لها محتوى الرطوبة عــالى حتــى 90%. ويــتم تجفيفها حتى مستوى رطوبة 15 - 20%، وأحياناً إلى أقل من 3 - 4%، لذلك فإنه يلزم طاقة كبيرة لوحدة الوزن من المنتج.

ثانيا: من الضرورى تحديد زمن التجفيف وطاقة المجفــف. فــى المجففــات ذات الطاقة الصغيرة يمكن تجفيف الشحنة كلها فى يوم واحد مشمس ولكن الطاقة الأكبر قد تستغرق أكثر من يوم واحد. ولكن من المفيد استخدام طاقة ليوم واحد لحين توفير نظام تخزين الحرارة أو التعزيز بسخان إضافى، وبخلاف ذلك فإن نوعية المنتج يمكــن أن تتلف. هنا من المهم أن فترة التجفيف تقرر معدل تدفق الهواء بحيث يوجد توافق بــين تدفق الهواء ووقت التجفيف، وذلك لتجنب الــصلابة الــسطحية (Case Hardening). الطاقة اللازمة لتجفيف منتج معين يمكن أن تنقسم إلى ثلاث مجموعات فرعية وهى:

1) الطاقة اللازمة لرفع درجة حرارة المنتج حتى درجة حرارة التجفيف بــالهواء فى شكل حرارة محسوسة.

$$E1 = Mx\ Cp' \times \Delta t$$

حيث:

E = الطاقة بالكيلو كالورى أو الكيلو جول (Kcal/Kj).

M = كمية المنتج.

Cp' = الحرارة النوعية للمنتج كيلو كالورى/كجرام^{5}م أو كيلو جول/كجرام ^{5}م

Δt = ارتفاع درجة الحرارة.

2) الحرارة الكامنة للتبخير لإزالة الرطوبة

$$E2 = M' \times L$$

حيث:

M' = كمية الرطوبة اللازم إزالتها، كجرام

L = الحرارة الكامنة للتبخير كيلو جول/كجرام

3) الفقد الذى يعتمد على عدد من العوامل مثل، العزل الحرارى، مادة الإنشاء، المساحة الملتصقة بهواء التجفيف والذى يمكن استنتاجه طبقاً لذلك. لهذا، إجمالى الطاقة اللازمة = الفقد + E1 +E2

كمية الرطوبة اللازم إزالتها يمكن حسابها من

$$M1 = \frac{\text{Im}c - Fmc}{100 - Fmc} xM$$

حيث :

Imc = المحتوى الأول من الرطوبة، % (البصيلة الرطبة)

Fmc = المحتوى النهائى من الرطوبة، % (البصيلة الرطبة)

M = كمية المنتج، كجرام

من المهم عند هذه النقطة أن كل ذلك يساعد فى الحسابات الأولية، اختيار المنتج للتصميم.. الخ، اختيار المنتج يقرر درجة الحرارة التى إليها يتم تسخين الهواء.

معامل المناخ : Climate factor:

معامل المناخ يقوم كذلك بدور هام ومن بين تلك العوامل تقع درجة حرارة الجو المحيط. الرطوبة النسبية للمجال المحيط، الكثافة الشمسية وسرعة الرياح، خلال فترة العمل. من المفضل التصميم فى أسوأ الحالات.

درجة حرارة الهواء المحيط تهبط خلال فصل الشتاء. كلما انخفضت درجة حرارة الهواء المجاور كلما زاد الفقد وفى نفس الوقت يكون المطلوب طاقة أكثر لرفع درجة الحرارة إلى المستوى المطلوب.

الرطوبة النسبية للمجال المحيط تزداد خلال فصل الشتاء وتقل خلال فصل الصيف. وبالمثل تزداد سرعة الرياح خلال فصل الصيف وتقل خلال فصل الشتاء.

يجب أن يكون هناك توافق بين كل تلك العوامل، حيث خلال أحد الفصول إذا كان شئ محبباً فإن كل الباقى قد لا يكون كذلك. فمثلاً، خلال فصل الصيف فإن احتمال الاشماس من الشمس يكون عالياً والذى يكون محبباً ولكن فى نفس الوقت تكون سرعة الرياح عالية كذلك والذى يكون غير مناسب. لذلك يكون من المهم تقرير القيم المناسبة لتلك المعايير.

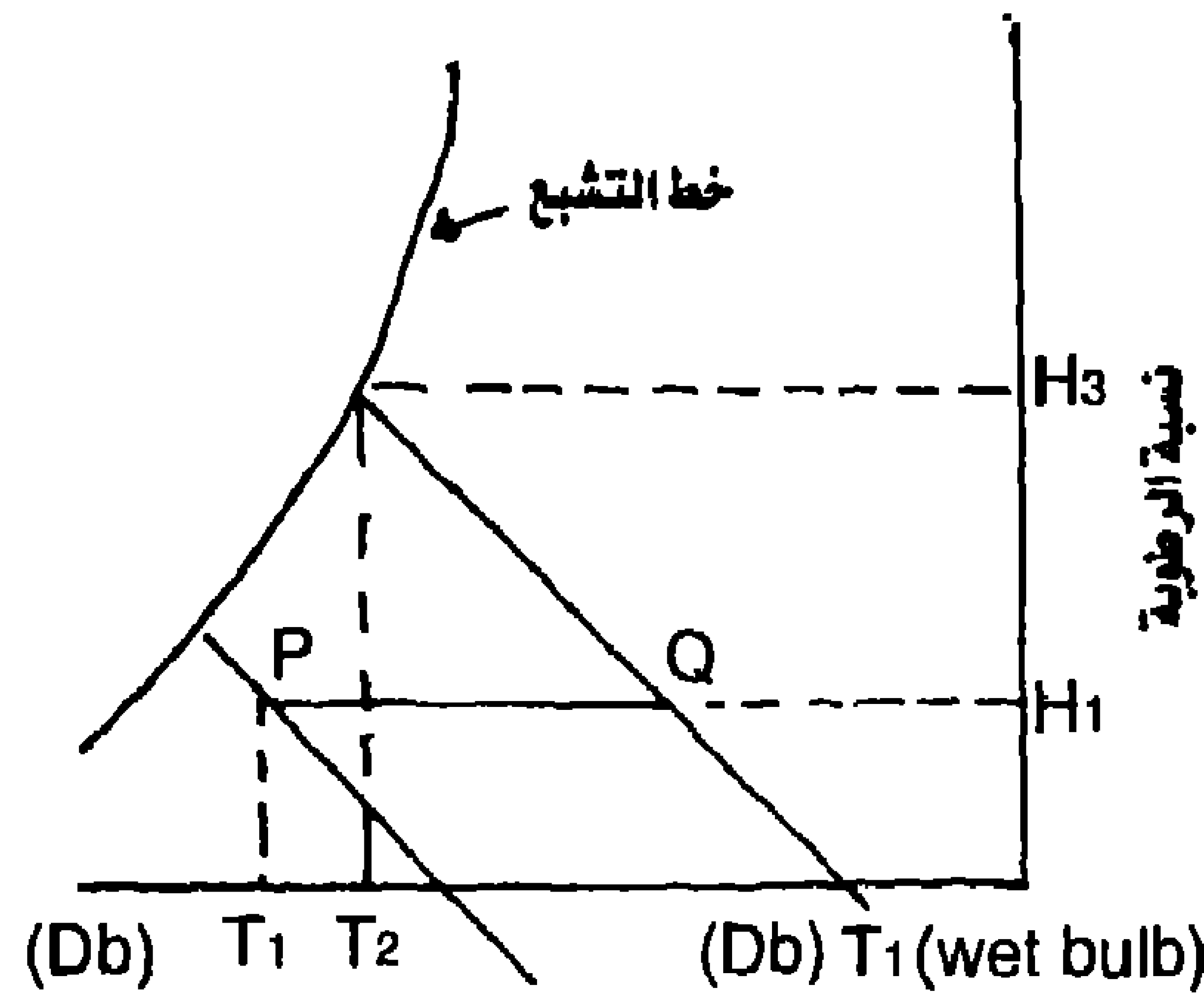
مادة الإنشاء :

وهذه تشمل اختيار المواد المختلفة المتاحة، مثل الزجاج، البولى ثين..الخ. للأغطية، للوح الماص الألومنيوم، الصلب المطاوع أو ألواح معدنية أخرى.. الخ يتم اختيارها طبقاً لوزنها، توصيلها الحرارى والتكلفة الخ. اختيار مادة العزل يتوقف كذلك على تكلفتها، وفرتها، التوصيل الحرارى، القابلية للنقل.

حساب معدل تدفق الهواء/ معدل تدفق الكتلة:

يلزم هواء زائد لتوصيل الحرارى إلى المنتج لتبخير الماء الموجود عن المطلوبي لنقل بخار الماء من غرفة التجفيف. لقد ثبت أنه يلزم 5 - 7 أضعاف الهواء لتسخين المنتجات الغذائية مقارنة بالمطلوب لحمل الرطوبة من المنتج.

التجفيف هو ظاهرة انتقال حرارة وكتلة. طاقة حمل الرطوبة للهواء هى التى تحدد كمية الهواء اللازمة. درجة حرارة الهواء فى المجال المحيط والرطوبة النسبية تثبت النقطة P، على مخطط مقياس رطوبة الجو الموضح فى الشكل (18/6).



شكل (18/6) مخطط قياس الرطوبة موضحا حالة الهواء خلال عملية التسخين والتجفيف

مكان النقطة (Q) يكون ثابتاً بدرجة الحرارة التى يحتاجها الهواء ليصبح ساخناً. تسخين الهواء من (P) إلى (Q) يتم بإحساس (Sensibly) أى لا يوجد إزالة أو إضافة للرطوبة فى الهواء.

الآن الهواء عند (To) يدخل غرفة التجفيف (يتم فقد بعض الحرارة ما بين سخانات الهواء وغرفة التجفيف لذلك ينصح بتصميم لدرجة حرارة أعلا عن المطلوب بفرض الانخفاض فى درجة الحرارة طبقاً لذلك)، بينما الهواء يمر خلال طبقة التجفيف فإنه سوف يتبع خط درجة حرارة البصيلة الرطبة (Wet bulb) وسوف يترك الغرفة برطوبة نسبية زائدة مكان النقطة (R) على مخطط مقياس الرطوبة يتوقف على طبيعة المنتج، عمق طبقة التجفيف، سرعة الهواء ..الخ.الفرق بين نسبتين للرطوبة يعين إزالة الرطوبة لكل كيلو جرام من الهواء.

لذلك، إجمال كمية الهواء المطلوب: (W) هى :

$$W = \frac{M_1}{H_2 - H_1}$$

حيث :

M' = كمية الرطوبة اللازم إزالتها، كجرام

H1 = نسبة الرطوبة عند المرحلة الأولى كجرام/كجرام.

H2 = نسبة الرطوبة عند المرحلة النهائية كجرام/كجرام

الآن: معدل تدفق الكتلة (m)

$$m \text{ (بالكيلو جرام/ساعة)} = \frac{W}{\text{زمن التجفيف بالساعات}}$$

$$\text{ومعدل تدفق الهواء (م3/ق)} = \frac{\text{معدل تدفق الكتلة} \times \text{الحجم النوعى للهواء عند النقطة (أ)}}{60}$$

$$\frac{Vm}{60} = \text{متر مكعب/الدقيقة}$$

الفصــل الســابع

المجمعات الشمسية من نوع التركيز البؤرى

Solar Collector: Focusing Type

مقدمة :

مجمع التركيز البؤرى هو تجهيزه لجمع الطاقة الشمسية بتركيز عالى للإشعاع الشمسي على سطح امتصاص الطاقة. مثل هذه المجمعات تستخدم نظام ضوئى فى شكل العاكسات أو الكاسرات (Reflectors or refractors).

مجمع التركيز البؤرى هو شكل خاص من أشكال مجمع اللوح المستوى المطور بإدخال سطح عاكس (أو سطح كاسر) (مركز) مابين الإشعاع الشمسى والماص. مجمعات التركيز البؤرى يمكن أن يكون لها زيادة إشعاع من القيمة المنخفضة ذات 1.5 إلى 2، القيم العالية ذات المقدار حتى 10000.

المميزة الرئيسية لنظم المركزات مقارنة بالمجمعات ذات اللوح المستوى هى:

1- أسطح الانعكاس تحتاج إلى مواد أقل وأسهل فى الإنشاء مقارنة بمجمعات اللوح المستوى. بالنسبة لنظام المجمع بالتركيز التكلفة لوحدة المساحة من سطح المجمع الشمسى تكون أقل عن تلك المجمعات للوح المستوى.

2- مساحة الامتصاص (الماص) للنظام المركز أصغر من ذلك لنظام السطح المستوى لنفس تجميع الطاقة الشمسية وتركيز العزل يكون لذلك أكبر.

3- بسبب المساحة التى تفقد منها الحرارة نحو المجال المحيط لكل وحدة مساحة جمع الطاقة الشمسية يكون أقل عن تلك لمجمع اللوح المستوى وبسبب العزل على الماص يكون أكثر تركيزاً، فإن سائل التشغيل يمكن أن يحصل على درجة حرارة أعلا فى نظام التركيز مقارنة بذلك فى مجمع السطح المستوى لنفس سطح تجميع الطاقة الشمسية.

4- بسبب المساحة الصغيرة للماص لوحدة مساحة التجميع للطاقة الشمسية، فإن انتقاء المعالجة السطحية و/أو العزل بالتفريغ لخفض الفقد الحرارى وتحسين كفاءة المجمع الشمسى يعتبر ذو جدوى اقتصادية.

5- نظم التركيز البؤرى أو التركيز يمكن استخدامها لتوليد الطاقة الكهربية عند عدم استخدامها للتسخين أو للتبريد. إجمالى وقت التشغيل المفيد فى العام يمكن لذلك أن يكون كبيراً لنظم التركز مقارنة بمجمعات اللوح المستوى وتكاليف الإنشاء الأولية للنظام يمكن اكتسابها بالوفر فى الطاقة فى فترة زمنية قصيرة.

6- بسبب ارتفاع درجة الحرارة التى يمكن الحصول عليها مع نظم التركيز فإن كمية الحرارة التى يمكن تخزينها لوحدة الحجم تكون أكبر وبالتالى فإن تكاليف تخزين الحرارة تكون أقل لنظم المركزات مقارنة بمجمعات اللوح المستوى.

7- فى استخدامات التسخين والتبريد الشمسى، فإن درجة الحرارة المرتفعة التى يمكن الحصول عليها لسائل التشغيل بنظام التركيز تمكن من تحقيق كفاءة عالية، فى دورة التبريد، وتكلفة أقل لتكييف الهواء بالمركزات مقارنة بمجمعات اللوح المستوى.

8- ليست هناك حاجة أو القليل من مقاوم التجمد لحماية الماص فى النظام المركز حيث سطح المجمع للطاقة الشمسية يتطلب الحماية ضد التجمد فى حالة مجمع اللوح المستوى.

9- ولكن مثل هذه المجمعات تحدث مشاكل إضافية أى سلبيات والتى هى:

1- بعيداً عن الإشعاع وانتشار الإشعاع الشمسى فإنه يتم فقط تكون الإشعاع (Beam component) فى حالة مجمعات التركيز ذلك لآن مكونات الانتشار لا يمكن انعكاسها وبذلك فإنها تفقد.

2- فى بعض نظم الانعكاس الثابتة يكون من الضرورى وجود ماص صغير (Small absorber) لتعقب الشمس، وفى البعض الآخر، يمكن أن يكون لدى العاكس إمكانية الضبط فى أكثر من وضع واحد إذا كان المطلوب الاستخدام خلال العام، بمعنى آخر، يلزم استخدام نظم توجيه مكلفة لتعقب الشمس.

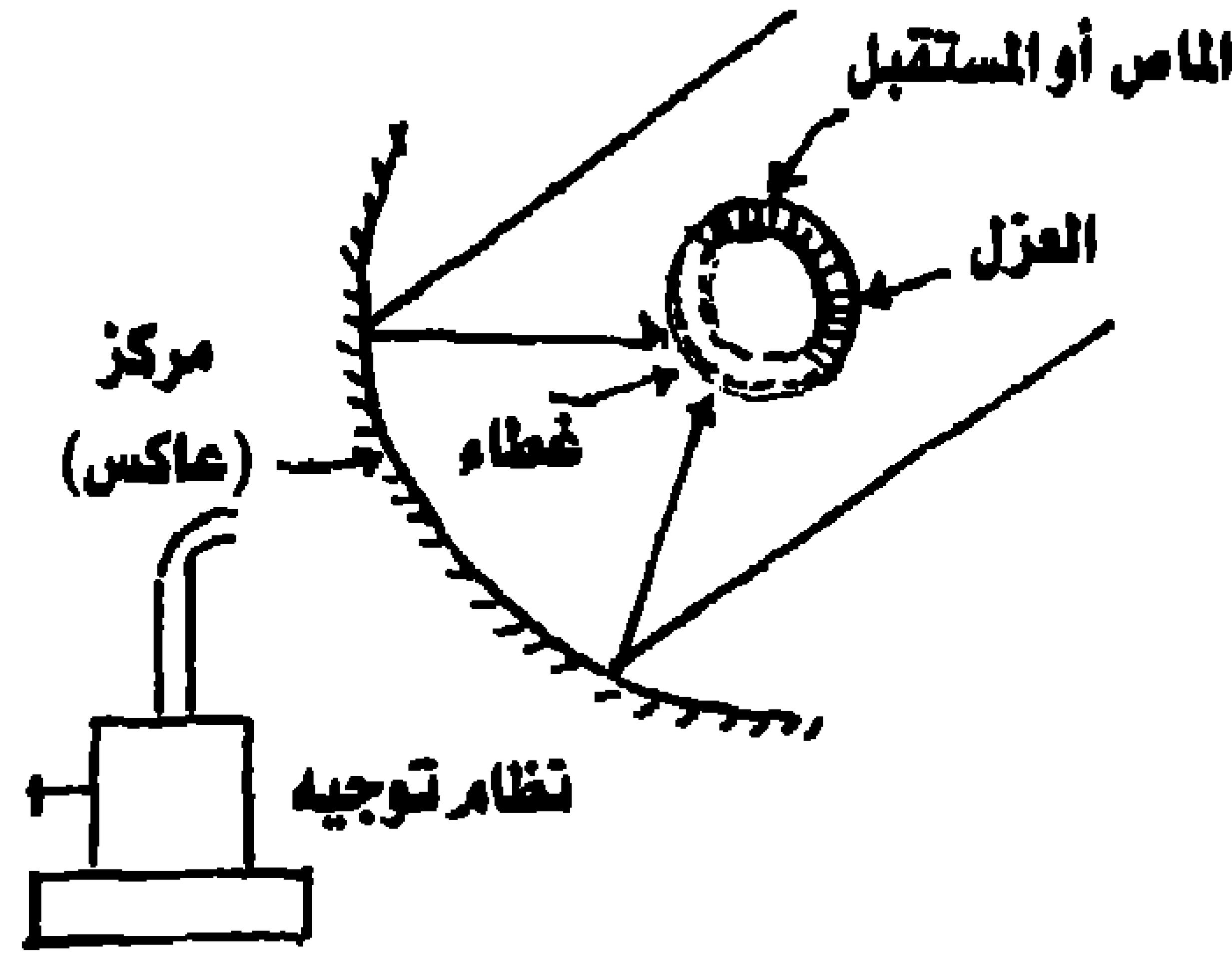
3- متطلبات إضافية للصيانة خاصة لحماية نوعية السطح العاكس من الأوساخ، الأكسدة، التأثيرات الأخرى للبيئة المحيطة ..الخ.

4- لا يوجد تدفق غير متجانس (Non - uniform flux) على الماص بينما يكون التدفق فى مجمعات اللوح المستوى يكون متجانساً.

5- فقد بصرى آخر مثل فقد الانعكاس وفقد الإعاقة، لذلك فإن تلك تدخل عوامل إضافية فى ميزان الطاقة.

تلك المشاكل وبالتالى التكلفة العالية قد أعاقت استخدام مجمعات التركيز البؤرى واستخدامها فقط فى الأفران. المواد الجديدة وتحسين النظم الهندسية يمكن أن تجعلها ذات أهمية تطبيقية.

لتجنب التداخل فى المصطلحات فإن كلمة مجمع (Collector) سوف تطبق لكل النظام شاملاً المستقبل والمركز. المستقبل هو ذلك العنصر من النظام حيث يتم امتصاص الإشعاع وتحويله إلى بعض من أشكال الطاقة الأخرى ويشمل الماص، والأغطية والعزل..الخ. مخطط لمجمع التركيز البؤرى موضح فى الشكل (1/7).



شكل (1/7) مخطط للمجمع البؤرى

المركز أو النظام البصرى هو جزء المجمع الذى يوجه الإشعاع (المنعكس أو المنكسر) على المستقبل.

القرص الشمسى وصور الشمس النظرية:

Solar disk and theoretical solar images:

كل النظم البصرية تكون صورة للشمس على المستقبل. بسبب الزاوية الصغيرة جداً المقابلة للشمس عند أى نقطة على الأرض، فإن الصورة النظرية الناتجة بأى نظام بصرى سوف يكون لها حجم محدود طبقاً لحجم قرص الشمس وهندسة النظام. الأشعة الشمسية لها زاوية مقدارها '32 عند أى نقطة على الأرض.

المركزات الشمسية والأشكال الهندسية للمستقبل :

Solar concentrators and receiver geometries:

يوجد العديد من الوسائل لزيادة تدفق (Flux) الإشعاع الشمسى على المستقبلات (Receivers). ويمكن تقسيمها لعدسات أو عواكس، طبقاً لنوع نظم التركيب والتوجيه، بتركيز الإشعاع القادرين على تحقيقه.

المركزات هى مكونات مستخدمة لزيادة تركيز تدفق الطاقة على المستقبل. نسبة التركيز هى (Ar / Aa) حيث هى مساحة فتحة المركز إلى مساحة امتصاص الطاقة الشمسية للمستقبل. وهى تحدد قدرة التأثير للمركز.

مجمعات التركيز يمكن تقسيمها إلى الآتى:

1) يمكن أن تكون من نوع العاكس مستخدمة المرايا أو النوع الكاسر (Refracting) مستخدمة عدسات فريزنل (Fresnel = وحدة تردد بصرى تساوى 10^{12} دور فى الثانية = 10^{12} هرتز). الأسطح العاكسة يمكن أن تكون فى شكل القطع المكافئ، الأسطوانى، أو المستوى وهى يجب أن تكون مستدرة أو متقطعة.

2) بالنسبة للبصريات، المركزات الشمسية عموماً يمكن تقسيمها أما بنظم تقطعه البؤرة (Point focus) أو تركيز بؤرى لنقطة أو تركيز بؤرى لخط (Line focus). نظم تركيز النقطة لها تماثل دائرى وهى تستخدم عادة عندما يكون المطلوب تركيز عالى للإضاءة، كما فى الأفران الشمسية ونظم استقبال الطاقة المركزية. الخط البؤرى (Line focus) هو نظام له تماثل أسطوانى. وستخدم عادة عندما يكون تركيز الوسط كافيا للوصول إلى درجة حرارة التشغيل المطلوبة.

3) التقسيم الكبير للمركز الشمسى يبنى على مجال الرؤية للمركز. إذا كان مجال الرؤية أكبر من الحجم الزاوى للشمس والذى هو حوالى 5.5 ('32)، عندئذ يكون ليس من الضرورى استمرار توجيه المركز نحو الشمس مع تحركها فى السماء. مثل هذه المركزات يشار إليها بأنها المركزات بدون تتبع، بالمقارنة للمركزات بالتتبع التى تحتاج لتتبع الشمس باستمرار. فإن نسبة التركيز التى يتم الحصول عليها بالمركزات التى تعمل بدون تتبع يكون أقل من تلك المركزات التى تعمل بالتتبع.

طبقا للتقسيم السابق، الآتى نظم التركيز الممكنة:

1- نوع العاكس المستوى والمستقبل المستوى :

Plane Reflector and plane receiver type:

الشكل (2-7a) أ يبين أن كلا من العاكس والمستقبل مستويا. مثل هذا النظام بسيط جداً فى الإنشاء وله ميزة امتصاص بعد الكون المنتشر للإشعاع الذى يسقط مباشرة على المستقبل.ولكن، يشبه التركيز لهذا النوع نسبياً منخفضة، ذات أقصى قيمة أربع أو أقل ($CR \leq 4$).

2- العاكس القمعى والمستقبل الاسطوانى:

Conical reflector and cylindrical receiver type:

الشكل (2/7b) يبين هذا النظام الذى فيه العاكس يكون فى شكل قمع والمستقبل فى شكل أسطوانة.

نسبة التركيز أعلا قليلاً عن ذلك فى الحالة الأولى حيث قد تصل إلى عشرة.

3- عاكس فريزنيل: (Fresnel reflector)

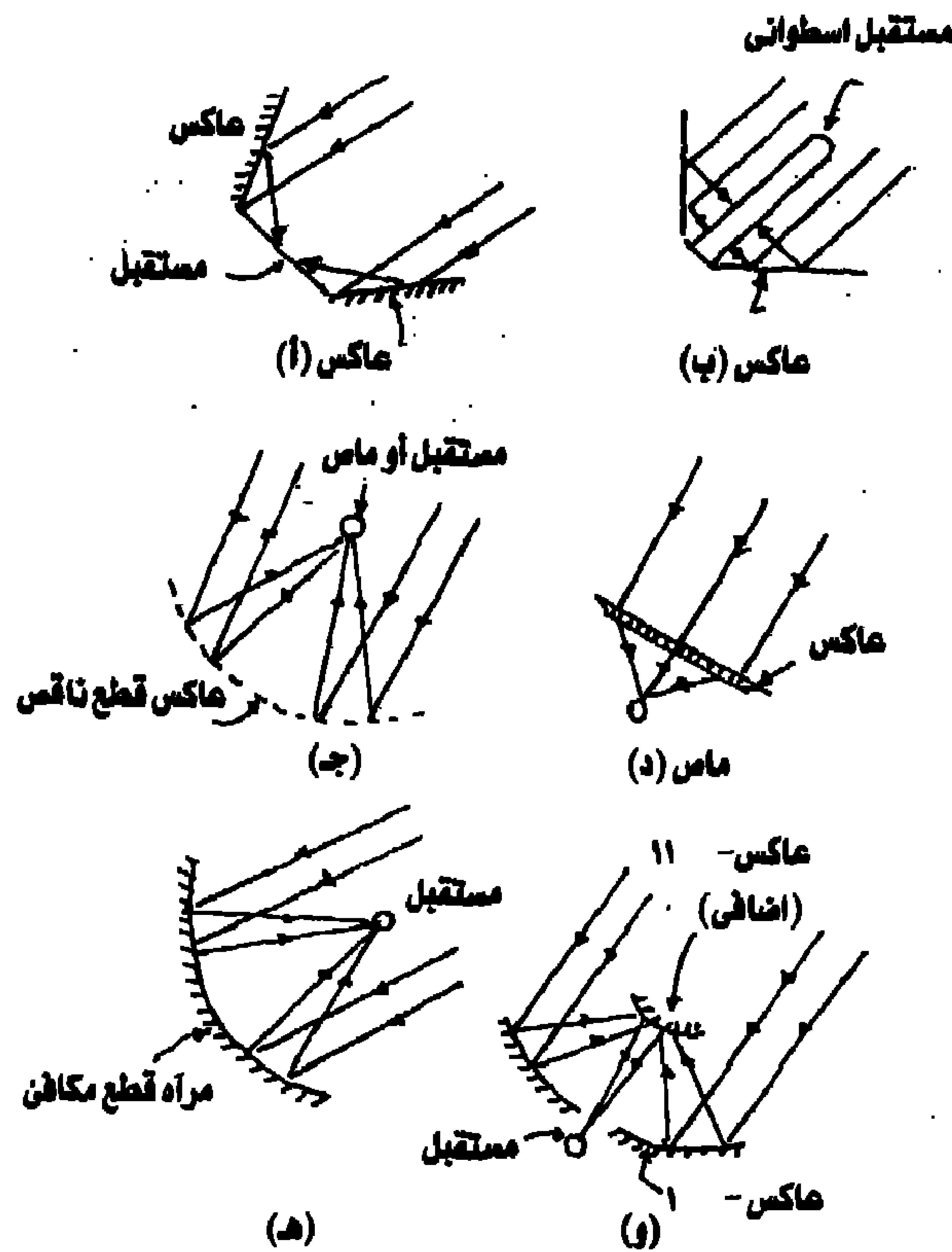
عاكس فريزنيل يتكون من عاكس فى شكل المكافئ (Parobolic) المصنوع من أجزاء صغيرة (الشكل جـ ، د) الميزة الرئيسية هى فى سهولة التصنيع ولكن هذه ليست معرضة لبعض الفقد الإضافى للإشعاع قرب الحافة لكل جزء. الجزء المقابل للانعكاس موضح فى الشكل (د).

ميزة عدسات فريزنيل الطولية هى أنـه يمكـن اسـتخدام تقنيـة البثـق لمـادة الثيرموبلاستك فى تصنيعها. نسبة التركيز حوالى عشرة ويمكن تحقيقها.

4- النظام المكافئ (Parabolic system)

فى نظام مكون من مرآة مكافئة (Parabolic mirror) وله مستقبل عنـد مركـزه البؤرى. تكون نسبة التركيز عالية جداً ولذلك يمكن استخدامه حيث يكـون المطلـوب درجة حرارة عالية. فى النظم الأسطوانية تكون نسبة التركيز أقل مقارنـة بـالأجزاء المقابلة المكافئة. فى كلا الحالتين يوضع المستقبل عند البؤرة أى على طـول الخـط البؤرى فى نظام المكافئ الأسـطوانى وعنـد البـؤرة فـى نظـام نظـم المكـافئ (Paraboloidal).

تطوير لنظام المكافئ موضح فى الشكل (f). فى هذه الحالة يستخدم نظام عـاكس مزدوج لتحريك البؤرة غلى النقطة المناسبة.



شكل (2/7) أشكال لبعض مجمعات التركيز البؤرية

نسب التركيز حوالى من 30 إلى 100 أو أعلا يلزم تحقيقها للحصول على درجات حرارة فى المجال من 300إلى 5000^{o}م أو أعلا. المجمعات المصممة لمثل هذه النسب

العالية من التركيز من الضرورى أن يكون لها زوايا صغيرة لمجال الرؤية وبالتالى تحتاج إلى تتبع الشمس باستمرار. التقسيم الكبير لمثل هذا المجمع هو:

1- مجمع المستقبل المركزى، مثل المرآة المكافئة (Paraboloidal Mirror)

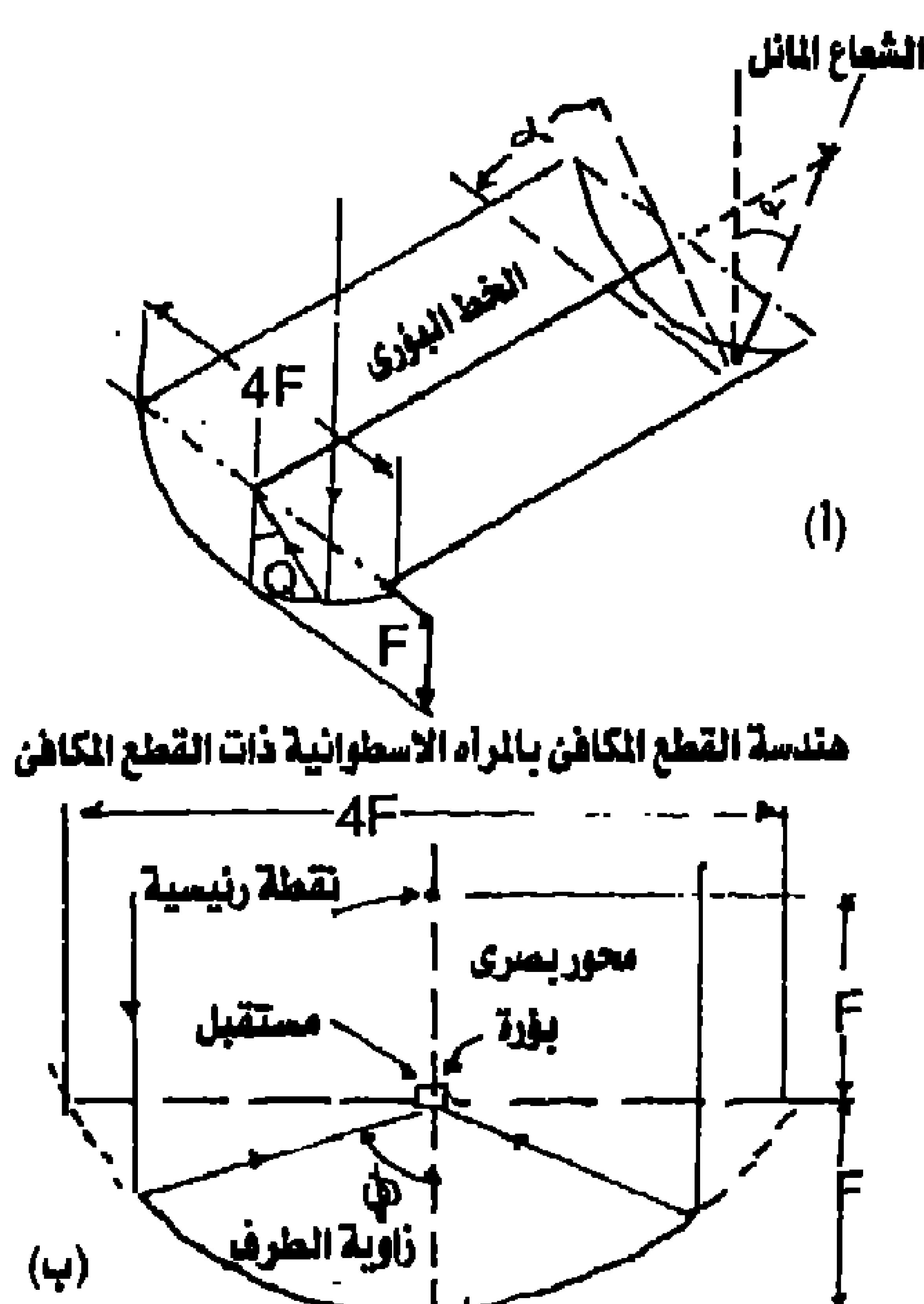
ومحطة برج الطاقة المستخدمة لمرايا الهيليوستات وهى مرآة برج الطاقة المستخدمة لمرايا الهيليوسات وهى مرآة دوارة (أو مجموعة مرايا) تعكس أشعة الشمس فى اتجاه واحد (Heliostat mirrors).

2- مجمع البؤرة الطولية (Linear focus collector)

فى شكل حوض بالقطع المكافئ أو الوحدات المستخدمة لشرائط مرآة ذات السطح الصغير (The ones employing faceted mirror strips).

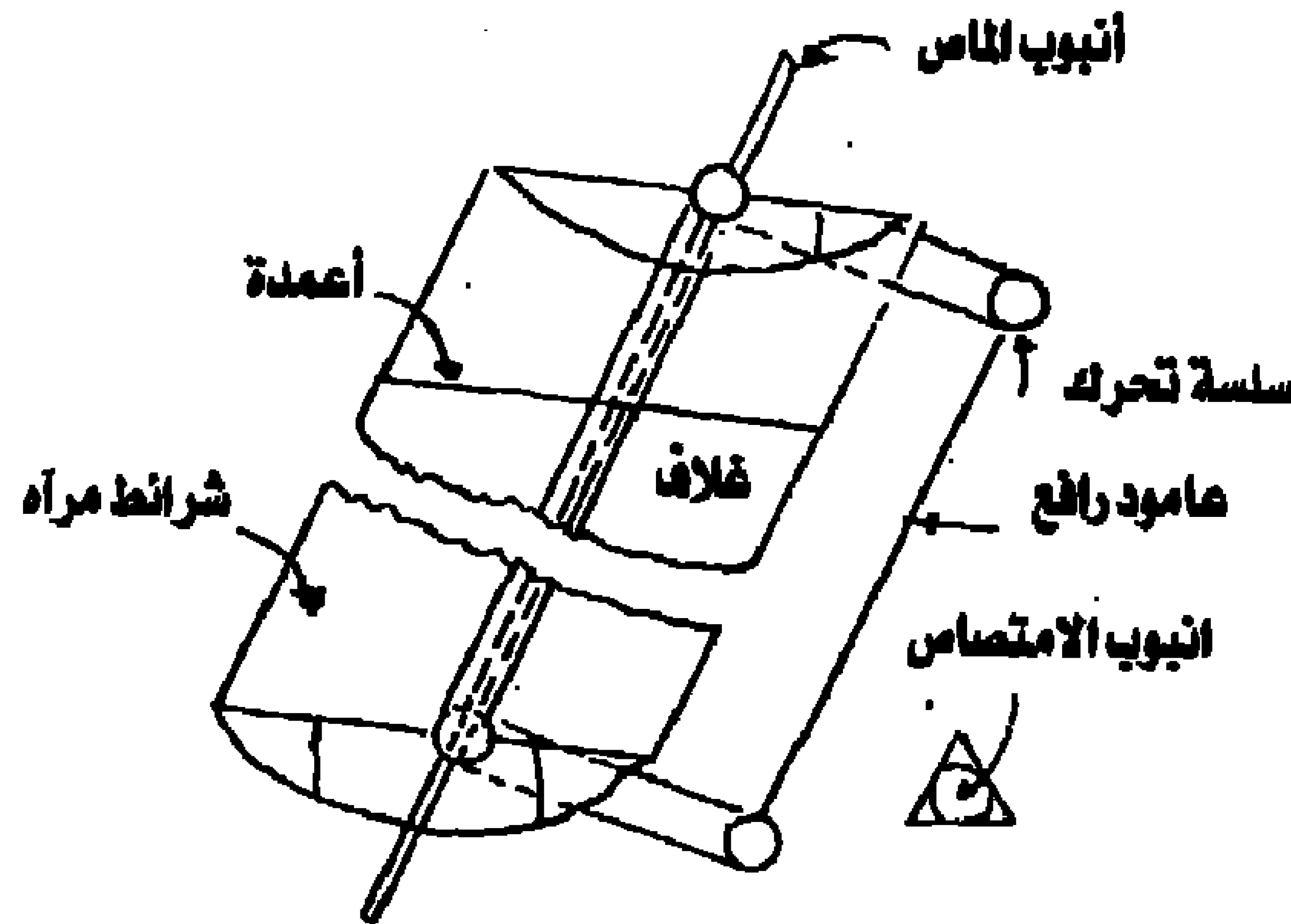
3- المرآة الأسطوانية أو القمعية (Axion)

ذات البؤرة المنحرفة (Aberrated foci).الحد الطبيعى العلوى إلى نسب التركيز التى يمكن الحصول عليها بالأحواض المكافئة والمتكافئة (Paraboloids and parabolic) والذى يتحدد لنسبهم وهى (f على d) والتى هى حوالى 10000، 100 على التوالى لكل الحالتين. نسب التركيز التى يمكن الحصول عليها عمليا هى حوالى 1/3 إلى 1/2 من القيم السابقة بسبب عدم انتظام سطح العاكس، مرايا التتبع ..الخ.



شكل (7/3) الاساس الهندسى للقطع المكافئ

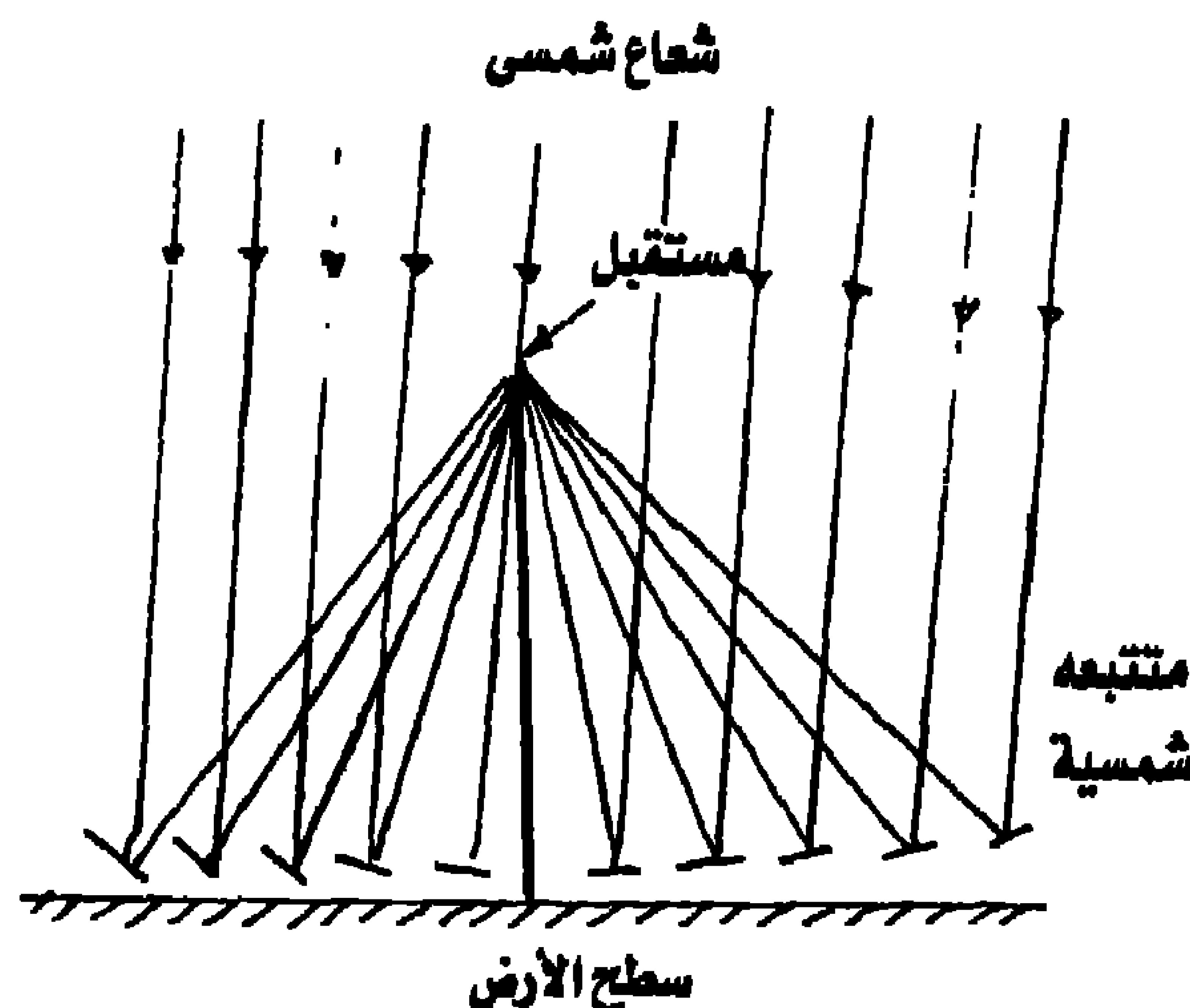
مفهوم مجمع المستقبل المركزى (Central Receiver colletor) بسيط جداً. لتجنب التكلفة والفقد الحرارى فى نقل مائع التشغيل إلى موقع مركزى، يستخدم ضوء الشمس نفسه كمجال انتقال. لتنفيذ هذا المفهوم، فإنه يلزم حقل من المرايا المزودة بوسائل توجيه ضوء الشمس المنعكس إلى مكان مركزى، أو مكان عند طرف واحد لحقل المرايا.



شكل (4/7) نموذج للنظام الاسطوانى بالقطع المكافئ

فى المستقبل المركزى النموذجى، تتكون المرايا من عدد كبير من المرايا الصغيرة لكل معها الهيليوستات الخاص بها (الذى يعكس أشعة الشمس فى اتجاه واحد) لتتبع الشمس. تلك الهيليوساتات تكون عموماً موضوعه فى المستوى الأفقى، ولكن عندما تكون الظروف ملائمة، يمكن بسهولة تتبع الأرض الموجودة. الفرق الأساسى بين مركز المرآة الواحدة ونظام الهيليوستات هو أن نظام الهليوستات له مرآة مخففة (Dilute Mirror). هذا يعنى أن السطح الكلى خلال النظام ليس مغطى بسطح المرأة. هذا التخفيف يسمى عموماً معامل الملئ (Fill factor) المستقبل المركزى بمعامل الملئ 40% يعنى أن 40% من مساحة الأرض ليست مغطاة بالمرايا.

المستقبل المركزى للنظام البصرى الموضح فى الشكل (5/7) حيث العديد من المرايا الصغيرة تكون مركبة كل على حدة للعمل معاً مثل المكافئ المخفف (Dilute Paraboloid). المشكلة الأساسية المصاحبة للمستقبل المركزى هى أن مرايا الهيليوستات تتطلب معدل تشغيل غير طولى فى احداثيين (2 coordinates) لتحقيق متطلبات المحافظة على نقطة الصورة المعكوسة على مستقبل ثابت. مع المشكلة حيث المطلوب أن الهيليوستات يكون متجعداً (Rugged Enough) بما يكفى لمقاومة العواصف والعمل بنجاح فى الرياح المتوسطة.



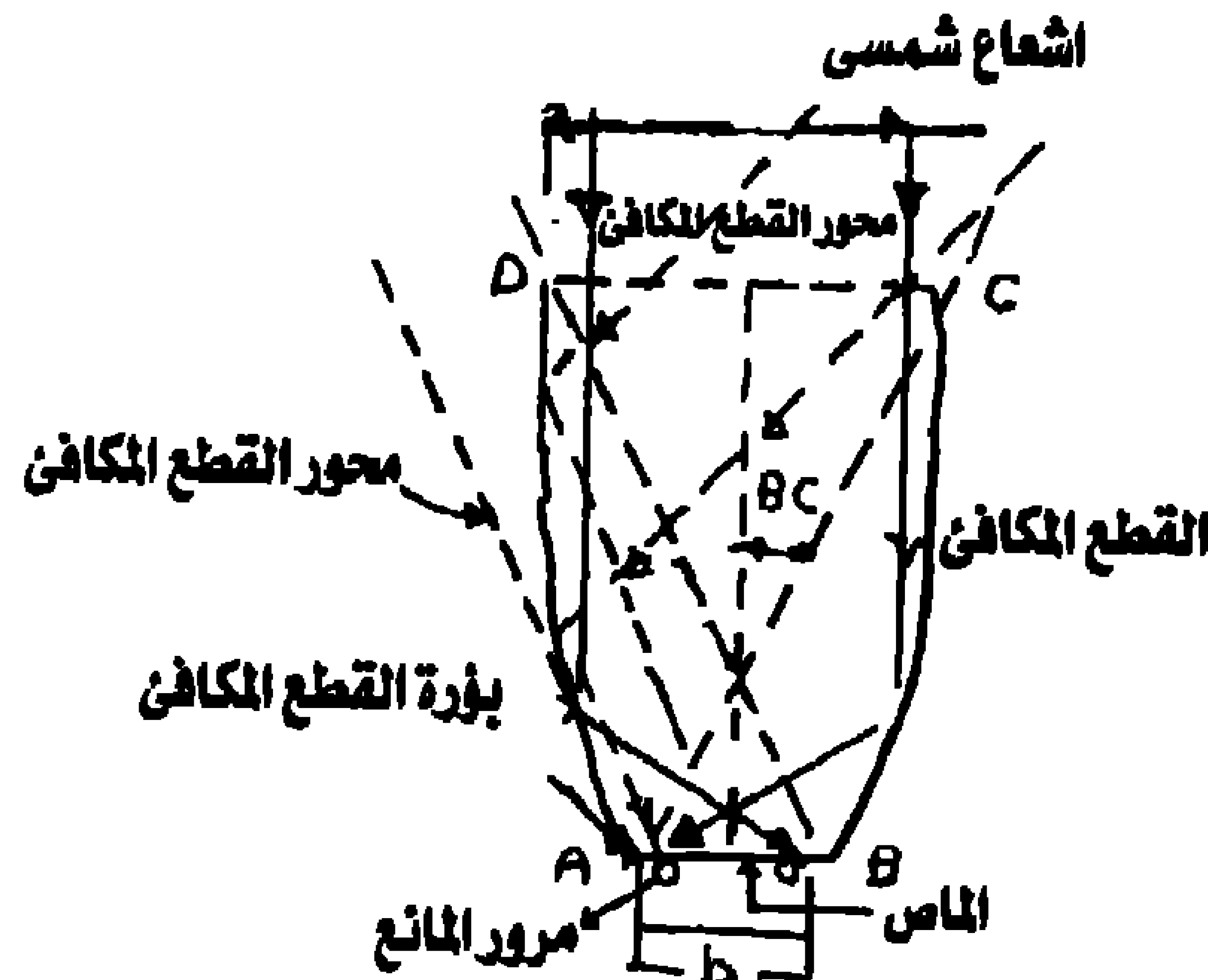
شكل (5/7) مخطط مستقبل مركزى لمصفوفة المتتبعه الشمسيه

من بين كل المركزات القابلة للتوجيه التى ذكرت سابقاً فإن ذو القطع المكافئ (Paraboloids) له أعلا كفاءة بالنسبة لاستخدام مساحة العاكس حيث فى حالة المكافئ القابل للتوجيه كلية لا يوجد هناك فقد بسبب تأثيرات إسقاط الفتحة Aperature projection effects. كذلك الفقد بالإشعاع يكون صغيراً بسبب صغر مساحة الماص عند البؤرة. ولكن عندئذ يكون من الصعوبة الشديدة التصنيع والتشغيل أيضاً. الحجم العملى لمساحة الفتحة يكون حوالى 50 متر مربع حيث منه يمكن استخلاص من 15 - 20 كيلوات من الطاقة المفيدة بعمليات التحويل الحرارى - مجسم القطع المكافئ (Paraboloid) يتضمن أسطح مركبة منحنية (Compound curvature surfaces) وأدائها يكون حساساً لانعكاسات المنشأ المرتبط مع محورين توحيد والذى يقلل كثيراً الاستخدام الاقتصادى لجسم القطع المكافئ عند المستوى العادى للتطبيق.

5- مجمع القطعى المكافئ المركب أو مجمع ونستون:

Compound parabolic collector or Winston collector:

من الممكن تركيز الإشعاع الشمسى بمعامل 10 بدون تتبع نهارى (Diurnal Tracking) باستخدام هذا النوع من المجمعات. مجمع القطعى المكافئ المركب موضح فى الشكل (6/7).



شكل (6/7) مركز القطع المكافئ المركب

هذا المجمع يتكون من اثنين من العواكس ذوى القطعى المكافئ حيث يتم سريان الإشعاع فى قمع (Funnel) من الفتحة إلى الماص.

النصف الأيمن والنصف الأيسر ينتمى إلى قطعى مكافئ مختلف (لذلك كان الاسم المجمع القطعى المكافئ المركب) محور الفرع الأيمن مثلاً، يعمل زاوية (θ_2) مع منتصف مستوى الجامع (Collector mid plane) وبؤرته تكون عند (A). عند نقطة النهاية (C) , (D) يكون الميل موازياً لمستوى منتصف المجمع.

المركز المركب القطعى المكافئ الذى تم تطويره بواسطة وينستون يمثل الذى يمكن تسميته بالمركز المثالى وذلك بالنظر إلى أنه بالنسبة لمجال رؤية معين يمكنها تحقيق أقصى نسبة تركيز ممكنة المعطاة بالآتى:

$$CR = \frac{W}{b} = \frac{I}{\sin \theta c}$$

حيث :

W = فتحة الدخول

B = فتحة الخروج، مغطاة بواسطة الماص

θ_2 = مجال الرؤية (نصف زاوية)

من المعادلة السابقة، نرى أنه يمكن تحقيق نسبة تركيز = 10 بالنسبة لمجال رؤية $\pm 6^{o}$ بما يفيد ضمناً أنه مع توجيه مجمع ونستون إلى الشرق أو الغرب عند المناطق القريبة من خط الاستواء (Low latitude) (أقل من 15^{o}) فإنه لا تكون هناك حاجة للتتبع النهارى خلال 6 - 8 ساعة، رغم أن الميل الثنائى (Second tilting) يكون

مطلوباً والذى هو من السهل الحصول عليه عملياً. نسبة التركيز عموماً تتراوح من 3 إلى 10.

سطح الماص (Absorber surface) له عرض (b). الحرارة المجمعة عند سطح الماص تنقل إلى المائع خلال أنابيب ذات قطر خارجى (Do) وقطر داخلى (Di)، متصل بجانب القاع. المائع يدخلها عند درجة حرارة (Tfi) ويترك عند درجة حرارة (Tfo). الفتحة المغطاة بغطاء شفاف، يفترض أن تكون مائلة نحو الجنوب، بحيث أن شعاع الشمس الساقط عليها يكون خلال زاوية القبول للمجمع. بسبب كبر زاوية القبول، فإن مجمع القطعى المكافئ المركب يقبل كلاً من إشعاع الشعاع (Beam radiation) الإشعاع المنتشر (Diffuse radiation). كل التدفق المؤثر الذى يدخل مسطح الفتحة يقدر بالمعادلة

$$S = (H_b R_b + \frac{Hd}{CR}) P.(\tau.\alpha)$$

حيث: مكونات الإشعاع المنتشر الساقط على مستوى الفتحة يعطى بواسطة HD/Cr (هذا مبنى على معكوس العلاقة بين معاملات الشكل للتبادل الحرارى المشع)

(τ) = هى القدرة الانتقالية للغطاء/ P هى القدرة على الانعكاس لسطح المركز لكل الإشعاع.

(α) = القدرة على الامتصاص لسطح الماص لاكتساب الحرارة المفيدة (Qu) عاكسات مجمع القطعى المكافئ المركب يمكن تصميمها لأى شكل للماص كمثال.

أ- الماصات المستوية بجانب واحد.

ب- الماصات المستوية بجانبين (نتوءات fin)

جـ- الماصات مثل الوتد (Wedgelike)

د- الماصات الأنبوبية.

لأسباب اقتصادية وكذلك لأسباب حرارية، يفضل أنواع الماصات ذات الزعانف (Fin) أو الأنبوبية. فى حالة الماص الأنبوبى ذو المركز الواحد مع (الغلاف المفرغ، يمن الحصول على درجة حرارة 200^oم باستخدام مجمعات ونستون. وهى مناسبة لمجال درجة حرارة ما بين 100 - 150^oم حتى فى حالة عدم إحاطة الماص بالتفريغ. هناك إدعاء بأن مجمعات ونستون قادرة على الأداء المتنافس عند درجات الحرارة العالية بحوالى 300^oم اللازمة لتوليد الطاقة، وذلك فى حالة استخدامها بطلاءات انتقائية، كتفريغ بغلف المستقبلاب والذى يقلل الفقد الحرارى من المجمع.

مميزات هذا النوع الجديد هو:

1- ليست هناك حاجة إلى التتبع، حيث له زاوية قبول عالية، يلزم فقط عمليات ضبط موسمية. لنسب تركيز 3، حتى أن عمليات الضبط الموسمية يمكن أن تكون غير مطلوبة.

2- كفاءة قبول الإشعاع المشتت أكبر كثيراً مقارنة بالمركزات التقليدية.

3- نسب التركيز تساوى أقصى قيمة ممكنة لزاوية قبول معينة. بخلاف كل الأشكال التى تم وضعها، فإن أقصى نسبة تركيز تكون متاحة بنظام المقطع المكافئ، وهى فى حدود 10000.

لذلك فإننا نرى أن التركيز يتم الحصول عليه بانعكاس الإشعاع الشمسى من المرايا المستوية أو المقوسة. الإشعاع المنعكس يتم تركيزه فى منطقة بؤرية، لذلك تزداد الطاقة التى يتم استقبالهم لكل وحدة من مساحة السطح للمنطقة البؤرية.

معامل التركيز يتوقف على القطر الظاهرى للشمس، والذى يتغير موسمياً، مع التوجيه للنظام نحو الشمس وطبقاً لنوع وحالة السطح (وجود لطع أو أكسدة)

أفضل العواكس المحببه هى المقوسة (Curved) ذلك بسبب سهولة تصنيعها. بالمقارنة، العاكس المستوى يجب أن يكون له القوة الكافية للمحافظة على استوائه، والمرآة ذات المسطح المعدنى الرقيقة يمكنها فقط أن تكون مستوية إذا كانت تحت إجهاد الشد. كمية المادة المستخدمة للمرآة المقوسة صغيرة مقارنة بتلك المطلوبة للمجمع ذو اللوح المستوى.

شكل المستقبلات : (Shape of the receivers)

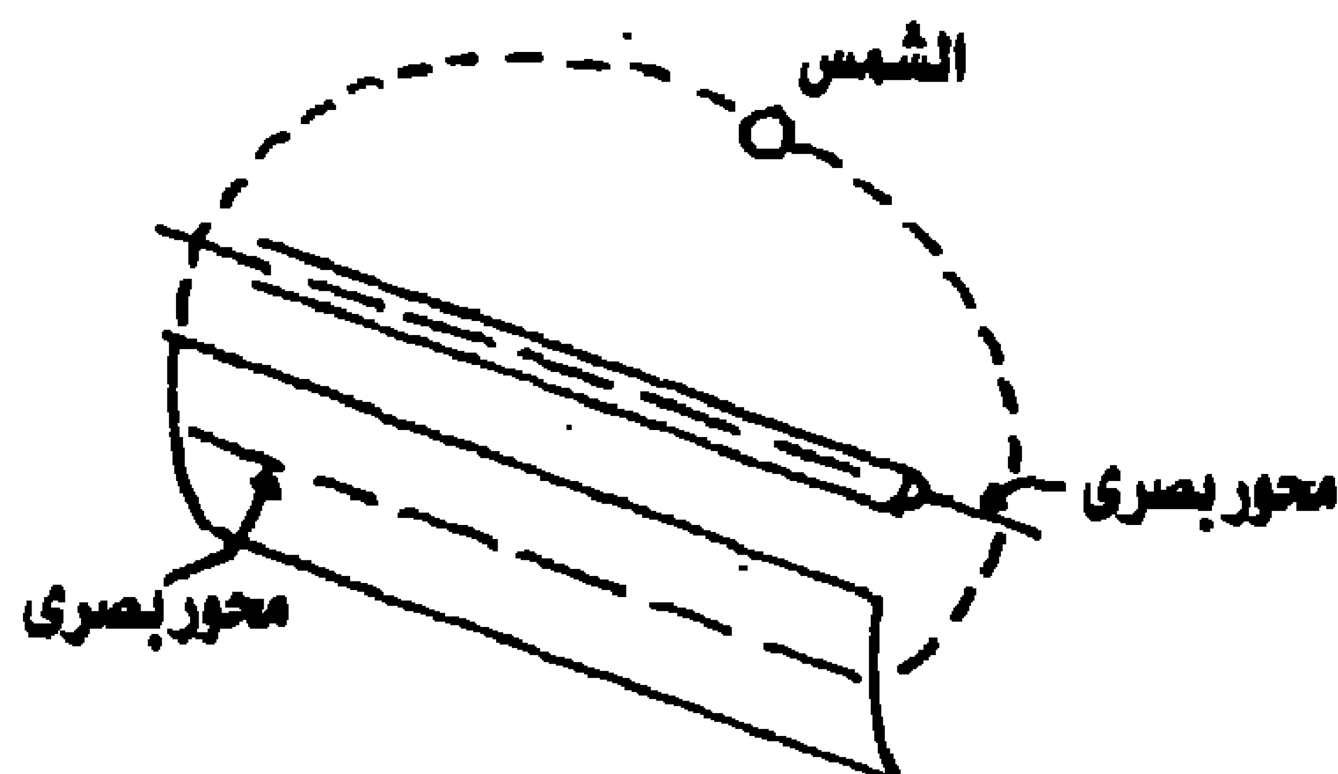
يوجد مجال كبير نحو اختيار أشكال المستقبل. مستوى، أسطوانى، نصف كروى، أو أى شكل منحنى آخر ومستقبلات ذات فجوات. الأسطوانية، النصف كروية يمكن لأى نظام تم مناقشته ومستقبل الفجوة يمكن استخدامه طبقاً للشكل (جـ) إلى (و) فى الشكل (2/7).

نظم التوجيه وتتبع الشمسى : (Orientation sun tracking systems)

لأقصى تجميع للطاقة يلزم توجيه المركز والمستقبل بالنسبة لاتجاه انتشار القاع الشمسى وتتبع الشمس فى بعض الدرجات، والذى يلزم لنظم التركيز البؤرى. تم تصميم العديد من أجهزة التتبع، أما العاكس أو الماص يمكن تحريكه. الحركة المطلوبة لتحقيق التتبع تختلف طبقاً لتصميم النظام البصرى، ويمكن تنفيذ محصلة التحرك الناتجة بأكثر من نظام من مكونات التحركات.

1) بالنسبة للنظم الأسطوانية: Cylenderical system

لمثل هذه النظم، يكون التنظيم بحيث أن المحور البؤرى قمة خط الجامع (Vertex line of the collector) والشمس يظل فى المستوى شكل (7/7).



شكل (7/7) المستوى المنقط يحتوى ذروة خط العاكس ، المحور البؤرى والشمس

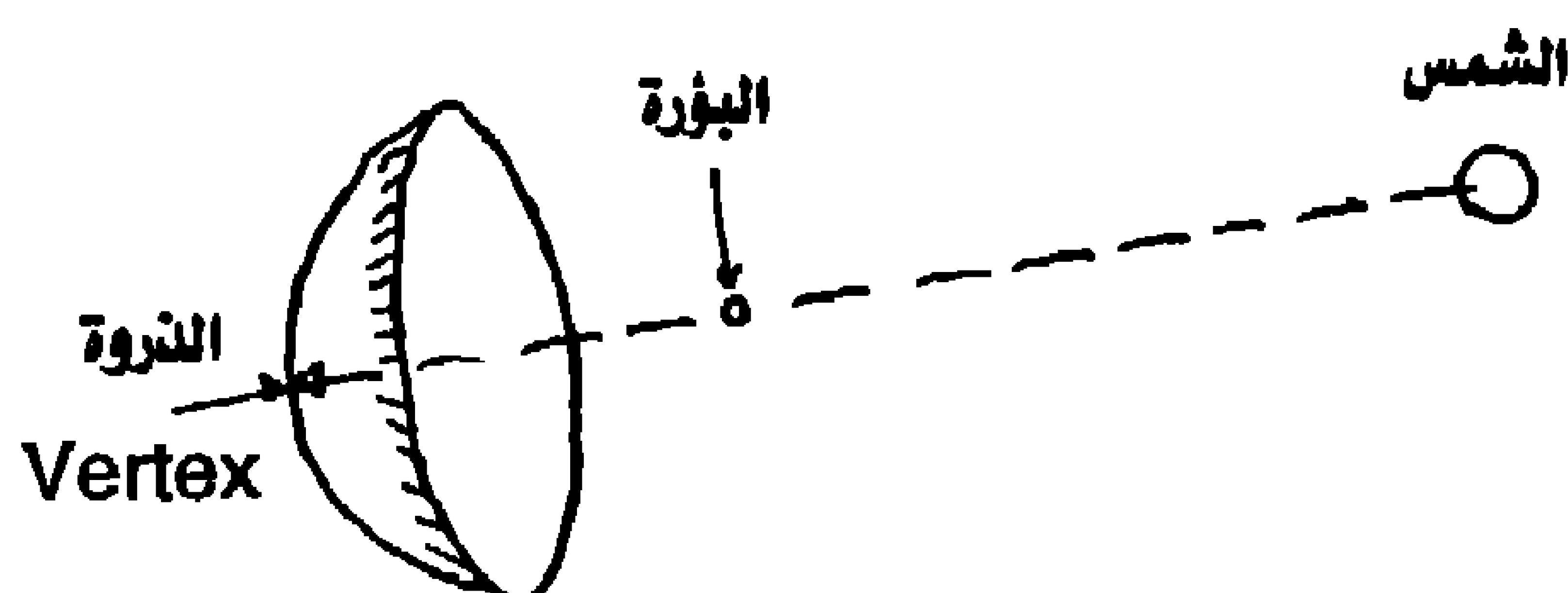
لذلك لهذا النوع من النظام، فإنه يمكن تدوير النظام البصرى حول محور واحد لتحقيق المطلوب. يمكن تنفيذ ذلك بالآتى:

1- الدوران حول المحور الشمال - الجنوب.
2- الدوران حول المحور الشرق - الغرب.
3- الدوران حول محور مائل وموازى لمحور الأرض (المحور القطبى (Polar axis).

عندما يكون المحور موازياً لمحور الأرض، فإن معدل الدوران يكون ثابتاً، دورة أو دورات واحدة فى اليوم أو 15 درجة فى الساعة لذلك يمكن استخدام تجهيزه ذات سرعة ثابتة، والتى سوف تحول البصريات من الشروق إلى الغروب.

2) لنظم السطوح والدوران (For surfaces and revolution systems)

لمثل هذه النظم يكون التوجيه أكثر تعقيداً، القمة (Vertex) والبؤرة والشمس يجب أن يكونوا على استقامة واحدة كما هو موضح فى الشكل (8/7).



شكل (8/7) الذروه ، البؤرة والشمس على خط واحد

النظام يجب أن يدور حول محورين في توقيت واحد (بينما في حالة النظم الأسطوانية، يكفى فقط دوران محور واحد). تلك المحاور يمكن أن تكون (1) أفقية ورأسية (محور شمال – جنوب ومحور شرق غرب) (2) محور واحد للدوران (أى محور قطبى) والآخر عمودى عليه.

زاوية السقوط للإشعاع الشمسى هى التى تحدد كمية تجميع الطاقة فى نظام المجمع البؤرى (Focusing collector) تجميع الطاقة يكون عند أقصاه لنظام معين إذا كان التوجيه قد تم بطريقة حيث السطح المستوى عند المتصف سوف يتطابق مع شعاع الشمسى كل الوقت. هذا سوف يكون ممكناً فقط باستمرار الدوران حول واحد/اثنين من المحاور العمودية. تجميع الطاقة يكون عند أدناه فى حالة عدم حدوث التتبع.

تقسيم آخر لنظم التوجيه يمكن عمله على التشغيل اليدوى أو الآلى.

1- النظم اليدوية:

هذا النوع من التوجيه سوف يعطى نتائج تتوقف على الملاحظة ومهارة العامل وهو مناسب إذا كانت نسب التركيز ليست عالية. مثل هذا النظام من الواضح خارج الاهتمام فى الاقتصاد الصناعى.

2- النظم الميكانيكية:

نظم التوجيه الميكانيكية يمكن أن تنقسم إلى (أ) نظم تتبع الشمس (Sun seeking systems) (ب) النظم المبرمجة.

أ- نظم تتبع الشمس.

ب- نظم المبرمجة.

أ- بالنسبة لنظم تتبع الشمس: استخدام كاشفات (Detectors) لتعيين نظام عدم الحيود وخلال الإحكام تعمل التصميمات الضرورية.

ب- النظم المبرمجة: تجعل النظام يتحرك على ممر سبق تعيينه ويحتاج فقط المراجعة من آن إلى آخر.

الجمع بين النظم اليدوية والميكانيكية يمكن أن يكون مفضلاً وكذلك اقتصادى.

نظام التتبع يجب أن يصمم طبقاً للبيانات الآتية.

1- الغلاف والمنشأ يجب أن يكون محملاً خلال التتبع بدون أى انحراف كبير بسبب وزنه وكذلك الرياح التى عادة يتم ملاقاتها.

2- يجب أن يكون قادراً على العمل فى الرياح التى يتم ملاقاتها عادة.

3- القدرة على مقاومة الرياح العاتية وحالات العواصف الأخرى.

مواد مجمعات التركيز وإنشاء العواكس:

Materials of concentrating collectors and construction of reflectors:

لاختيار المواد، فإن الخواص ذات الأهمية لمجمع التركيز هى:

1- قدرة العاكس على الانعكاس (Reflectance).

2- قدرة التزجيج على النقل Transmittance.

3- القدرة على الامتصاص والانبعاث لطلاء الماص Absorpitivity (α) and emissivity (ε) of the absorber coating.

لا توجد أسطح حقيقية مرآوى صقيل (Specular) بإتقان بسبب الخشونة الميكرونية أو تموج السطح (undulation). النقص فى الصقل أو اللمعان يساهم فى نشر الشعاع بنفس طريقة أخطاء المرآة. بالنسبة للمجمعات ذات التركيز المنخفض، فإن العاكس لا يحتاج لأن يكون عالى اللمعان والصقل. الألومنيوم ذو قدرة انعكاس إجمالية من 85 إلى 95% والفضة ذات قدرة انعكاس كلية (Total relectance) 95% وهى أفضل سطح انعكاس فى تطبيقات الطاقة الشمسية، باستثناء حالات خاصة حيث يمكن استخدام الانعكاس الكلى الداخلى. بسبب التغير الطيفى، فإن قيمة محددة للانعكاس يمكن الحصول عليها فقط من خلال تكامل العاكس الطيفى خلال طيف شمسى معين.

أول سطح من المرايا يتطلب الحماية من العوامل البيئية. مسطح الألومنيوم يمكن حمايته جيداً بعملية الأنود (Anodization) والتى تنتج طبقة أكسيد التى يمكنها مقاومة التعرض الخارجى والغسيل. فى حالة عدم تعرض سطح الألومنيوم إلى المجال البيئى الملاصق فإنه يكفى طبقة رقيقة للتغطية من فلوريد المنجنيز (MnF_2) أو (SiO_2). التغطية بالأكليريك أو بالتيفلون تم استخدامه كذلك. التيفلون (Teflon) غير عملى نظراً لأن خواصه الكهروستاتيكية تجعله جاذب للغبار. الأكليريك (Acrylic) لا يقاسى من هذه المشكلة ويمكن أن يكون طلاءاً جيداً حتى عند التعرض الخارجى لمرايا الألومنيوم. الفضة يصعب حمايتها باستثناء كطبقة مرايا ثانية خلف الزجاج. الطلاء الأكليريك تحميل أن يحدث له ثقوب التى خلالها يمكن أن تتسرب الملوثات وتسبب عدوانية على الفضة. الزجاج المفضض برقيقة ميكرونية (Micro sheet silvered glass) يبدو أن يكون مادة العاكس الواحدة وذلك فى حالة تطوير التقنيات المناسبة لتداولها (مثل طبقة أساس من البلاستك الرقائقى).

توصية خاصة يلزم إضافتها حول العواكس وهى الاقتراب الفورى للمستقبل الغير مفرغ (Non-Evacuated receiver). هذا ينطبق لكل من أطر المجمع الغير مفرغ

المركب بالقطع المكافئ والمركز المرحلة الثانية. فى هذه الحالات يلزم استخدام ألواح الألومنيوم المؤنودة كمادة عاكس بسبب قدرتها على التحمل، خاصة بالنظر إلى درجة حرارة الحذمة العالية. ولكن التوصيل الحرارى العالى للألومنيوم سوف يسبب فقد كبير فى الحرارة بالتوصيل الحرارى عدا فى حالة أخذ الاحتياطات نحو خفض هذا التسرب الحرارى وذلك بإيجاد فاصل هوائى صغير بين الانعكاس (Reflection) والماص، وباستخدام طبقة رقيقة من الألومنيوم ما أمكن، أو بفضل الصلب المقاوم المغطى بالألومنيوم (Aluminized stainless steel). الفقد البصرى الناتج بالفاصل بين العاكس والماص يتم تحليله فى الآتى:

الانتقالية (Transmittance) لمعظم المواد الزجاجية الصقيلة البراقة (Glazing) موضع فى الجدول التالى: الزجاج هو أكبر مادة قادرة على التحمل، يجب أن يكون ذو محتوى منخفض من الحديد لتجنب الفقد الكبير بالامتصاص. الزجاج المحفور بالحامض (Etched) ذو أهمية، الطلاء منخفض التكاليف الغير عاكس (Anti-Reflection). يمكن خفض الفقد بالإشعاع بتمميش السطح (Etching) بنسبة 4% من السطح إلى حوالى 1% عند السقوط العمودى.

عملية مضاعفة الحفر الكيماوى (Etching) يمكنها تحقيق نتائج أفضل، رغم التكلفة العالية. فى الإنتاج الكبير، حفر الغطاء المصقول للمستقبل يكون مكلف دائماً بسبب المساحة الصغيرة نسبياً وبسبب هذا الصقل يكون تام الحماية من المجال البيئى ولا يتحلل بفعل تراكم الأوساخ. فى حالة توقع الصقل (التزجيج) للتعرض إلى درجة حرارة، فإذ يوصى باستخدام زجاج البوروسيليكيت (Borosilicate) (البيركس) وهى مكلف مقارنة بزجاج النافذة (الحجر الجيرى). كذلك عملية الحفر للزجاج البيركس متاحة. الأكليرك مناسب كمادة تغطية لكل المجمع، وخاصة فإنه مادة ممتازة لعدسات الحلقات المتدرجة (Fresnel lenses).

بالنسبة لغطاء المستقبل فإن الأكليريك أقل من الناحية العملية بسبب انخفاض حد الأداء لدرجة الحرارة (حوالى 100^{o}م)، كذلك، فإن التلف بفعل الأشعة فوق البنفسجية يمكن أن يكون متتاليا كنتيجة تركيز لإشعاع الشمس قريباً من المستقبل.

جدول (1/7) الخواص لحرارية والإشعاعية لمادة الغطاء للمجمع

اسم المادة	معامل الانكسار (n)	القدرة لانتقالية τ لـ λ= 0.2 - 4 μm	حدود درجة الحرارة م°
لكزان (بولى كربونيت)	1.586	72.6	125 - 135 (درجة حرارة الحذمة)
أكيريك	1.49	79.6	90 -100

تيفلون	1.343	89.8	200 (استخدام مستمر)
Tedlar (فلورو كاربون)	1.46	88.3	110 (استخدام مستمر) 170 (استخدام متقطع)
الصوف الزجاجي	1.54	75.4	100 (الاستخدام المستمر) بسبب فقد 5% في (τ)
Float Glass	1.518	78.6	650
Temper glass (glass)	1.518	78.6	250-200 استخدام مستمر 275-250 استخدام متقطع
سطح الجير الرائق الزجاج (منخفض أكسيد الحديد)	1.51	87.5	200 للعمل المستمر
الزجاج ذو المحتوى المنخفض من الحديد	1.51	87.5	200 للعمل المستمر
الزجاج يحتوى من أكسيد الحديد 0.1%	1.5	91.5	200 للعمل المستمر

الطلاءات الانتقائية مبينة في الجدول التالي. في الوقت الحالي يبدو أن الكروم الأسود (Cr Ox) هو الأفضل. يمكن ترسيبه كهربياً على الصلب، النحاس، الألومنيوم ومعادن أخرى، مقدار (α)≅ 0.95، مقدار (ε) ≥ 0.1 (عند درجة حرارة تشغيل 100^oم) يمكن تحقيقه بإحكام النوع بطريقة جيدة. استخدامه ذو تكلفة مؤثرة في مجمعات التركيز ذات تركيز منخفض أو متوسط والتي تعمل عند درجات حرارة أعلا من 100^o. وهو ثابت في كل من الفراغ (Vacuum) والهواء. في حالة استخدام الزجاج كطبقة سفلية (Substrate) يتطلب عمليات خاصة وطلاءات، أكسيد الكروم والطلاءات المتداخلة متعددة الطبقات متوفرة حالياً في الإنتاج التجاري.

جدول (2/7) الأسطح الانتقائية

نوع التغطية (الطلاء)	α	ε 100° م	درجة الحرارة م° هواء/ تفريغ	العمر (السنة) هواء/ تفريغ
الأسطح البيئية	0.94	0.1	200/175	30/5
الكروم الأسود	0.96	0.12	200/175	30/15
النيكل الأسود	0.9	0.07	-	-
CuO	0.88	0.15	100	-
الطلاء بالمينا (Enamels)	0.95	0.9 - 0.8	250/250	∞
PbO_2	0.98	0.3	150/100	20
الصلب المقاوم	0.9	0.4	75	30.30
ألومنيوم بالأنودة	0.95	0.8	250	50
بويات	0.97	0.91	80/70	20 - 5
ألومنيوم – تحويل	0.93	0.35	100/100	20-10

عندما يكون من المهم مقدار (α) أو مقدار (ε) منخفض سوف يتوقف على نوع المجمع وعلى الاستخدام. فى المجمعات بدون تفريغ بالتوصل وبالحمل سوف يسود الفقد الإشعاعى عندما تكون (ε) قليل إلى أقل من حوالى 0.2. فى مجمعات التفريغ، على الجانب الآخر، توجد حوافز لتحقيق أدنى قيم ممكنه لمقدار (ε) على أساس أن (α) لا تكون أقل من 0.85 - 10 الطلاءات الأفضل بفضل أن تكون نتيجة للأبحاث المكثفة.

عند تفسير القيم المستخلصة لـ (α) , (ε) فإنه يجب أن يؤخذ فى الاعتبار النقط التالية:

1- (α) تتوقف على الطيف الشمسى الذى تم افتراضه.

2- (α) سوف تقل عموماً مع زاوية السقوط، ولكن عادة قيم السقوط العمودية يتم استنتاجها. فى مجمعات التركيز زاوية السقوط لبعض الأشعة عند الماص سوف تحيد بشدة من الاتجاه العمودى (بـ 30 إلى 90° طيفا لبصريات المركز). الكروم الأسود يحافظ على الامتصاص العالى حتى 60°، ولكن الطبقات المتداخلة المتعددة تميل إلى تهبط بشدة نحو 45°.

3- (ε) تزداد مع درجة الحرارة، بسبب الحيود الطيفى لإشعاع الجسم الأسود وبسبب التغيرات فى خواص السطح.

4- عدد واحد مثل (ε/α) لا يحقق توصيف مناسب للسطح الانتقـائى (وهـو يعين فقط درجة حرارة الركود فى الفراغ).

لأغراض الحوار، ينقسم العاكس إلى جزئيين.

1) بطانة عاكسة.

2) الغلاف، الحامل لمنشأ التوجيه.

البطانة: يكون مطلوب استخدام مادة عاكسة ذات أقصى قوة انعكاس طيفى تزيـد عن فترة الاستخدام المرتبطة بالتكلفة. كذلك، توجد احتمال تجديد البطانة بوضع طبقـة جديدة من شريط البلاستك العاكس.

الغلاف والمنشأ الحامل، وهو يؤثر على معامل الاعتـراض (Intercept factor) وعمل المجمع يتوقف على قدرة المنشأ على المحافظة على شكل وتوجيه العاكس.

نظراً لأن التوجيه والشكل هما من العوامل الهامة، فإنه يجب مراعاة النقط التاليـة عند التصميم.

1- الغلاف والمنشأ يجب أن يحملوا فى مختلف الأوضاع بحيث وجود أدنـى تشويه بسبب الوزن.

2- تأثيرات الرياح.

الفصل الثامن

اختبار الأداء للمجمعات الشمسية

Per formance testing of solar collectors

مقدمة :

الاختبارات القياسية والطرق المتعلق بها توفر أساس متساوى لمقارنة أداء مختلف أنواع المجمعات وأساس قوى لتصميم واختبار المعدة. طريقة اختبار الأداء التى سيتم تناولها تم استخدامها على نطاق اسع.

طرقة القياس ووسائل القياس:

1- قياس الإشعاع الشمسى:

سيتم استخدام مقياس الإشعاع السماوى (Pyranometer) لقياس إجمالى الإشعاع قصير الموجة من كل من الشمس ومن السماء. يتم تركيبه على سطح موازى لسطح الجامع بالطريقة حيث لا يسبب سقوط ظل على لوح الجامع. يجب الحرص دائماً نحو تجنب الجهاز للصدمات الميكانيكية أو الاهتزاز أثناء الإنشاء. يجب توجيه جهاز قياس الإشعاع السماوى بحيث أن الوصلات الاضطرارية أو الوصلات تكون موضوعة إلى الشمال من سطح الاستقبال (فى نصف الكرة الشمالى) أو شكل آخر مظلله. هذا يقلل التسخين للوصلات الكهربية بالشمس.

يجب الحرص كذلك نحو خفض الطاقة الإشعاعية والمنعكسه من المجمع الشمسى على مقياس الإشعاع السماوى. بعض أجهزة مقياس الإشعاع السماوى تباع بغطاء الحماية (Shields). يتم ضبط هذا بحيث أن أعلا نقطة على الغطاء الحاجز تقع موازية ل/ و إلى الأسفل تماماً لمستوى البطارية الحرارية (Themopile). بعض أجهزة القياس للإشعاع السماوى لا يتم إمدادها بذراع الحماية، وهذه تكون معرضة للخطأ بسبب الانعكاسات بالإشعاع التى تتبع أسفل مستوى البطارية الحرارية. كما سبق ذكره فى حالة مجمعات التركيز، الذى يتم قياسه هو فقط حزمة الإشعاع (Beam Readiation) حيث لهذا يستخدم مقياس الإشعاع السماوى.

2- قياسات درجة الحرارة:

درجة حرارة للمائع الناقل الداخل والخارج من المجمع الشمسى يتم قياسه بأحد الطرق الآتية:

أ- جهاز القياس بالمزدوجة الحرارية (Thermocouples)

ب- ترمومترات المقاومة (Resistance thermometers).

فرق درجة الحرارة لمائع الانتقال خلال المجمع الشمسى يتم قياسه بالآتى:

1- بطارية حرارية موصلة على التوالى (Thermopile) حيث الهواء أو الماء كمائع انتقال.

2- ترمومترات المقاومة المعايرة (Calibrated) المتصله فى ذراعين لدائرة مقنطرة (Bridge circuit) (فقط عندما يكون السائل هو مائع الانتقال). يتم عمل البطارية الحرارية الموصولة على التوالى (Thermopile) من سلك جهاز القياس بالمزدوجة الحرارية من النوع (T) المأخوذ من حوض فردى (Single Pool). البطارية الحرارية الموصلة على التوالى (Thermopile) تكون محتوية على عدد من الوصلات زوجى.

قياس درجة الحرارة هو عملية ذات أهمية خاصة عند تعيين خواص الأداء لإطار التسخين الشمسى. الطريقة المحددة المستخدمة تتوقف على مجال درجة الحرارة وعلى دقة ونوع الإشارة (Signal) المطلوبة. سوف نناقش فقط المحساس الكهربى (Electrical sensors). لقياس درجة الحرارة العالية يتم استخدام طريقتين وهما الترمومترات ذات المقاومة المعدنية والترمومترات ذات القياس بالمزدوجة الحرارية (Thermocouples).

ترمومتر المقاومة يستخدم عنصر معدنى مثل البلاتين أو النحاس كمحساس (Sensor). مقاومة العنصر تزداد مع زيادة درجة الحرارة. معامل درجة الحرارة للمقاومة يعرف بالآتى:

$$B = \frac{1}{R}\frac{dR}{dT}$$

حيث:

R = المقاومة عند درجة حرارة (T) . بالنسبة لمعظم المعادن B تكون دلالة متغيرة ببطئ لدرجة الحرارة.

كذلك، المعامل عادة يكون صغيراً بما يكفى بحيث أن بعد مجالات درجة حرارة محدده يمكن تكامل المعادلة السابقة كالآتى:

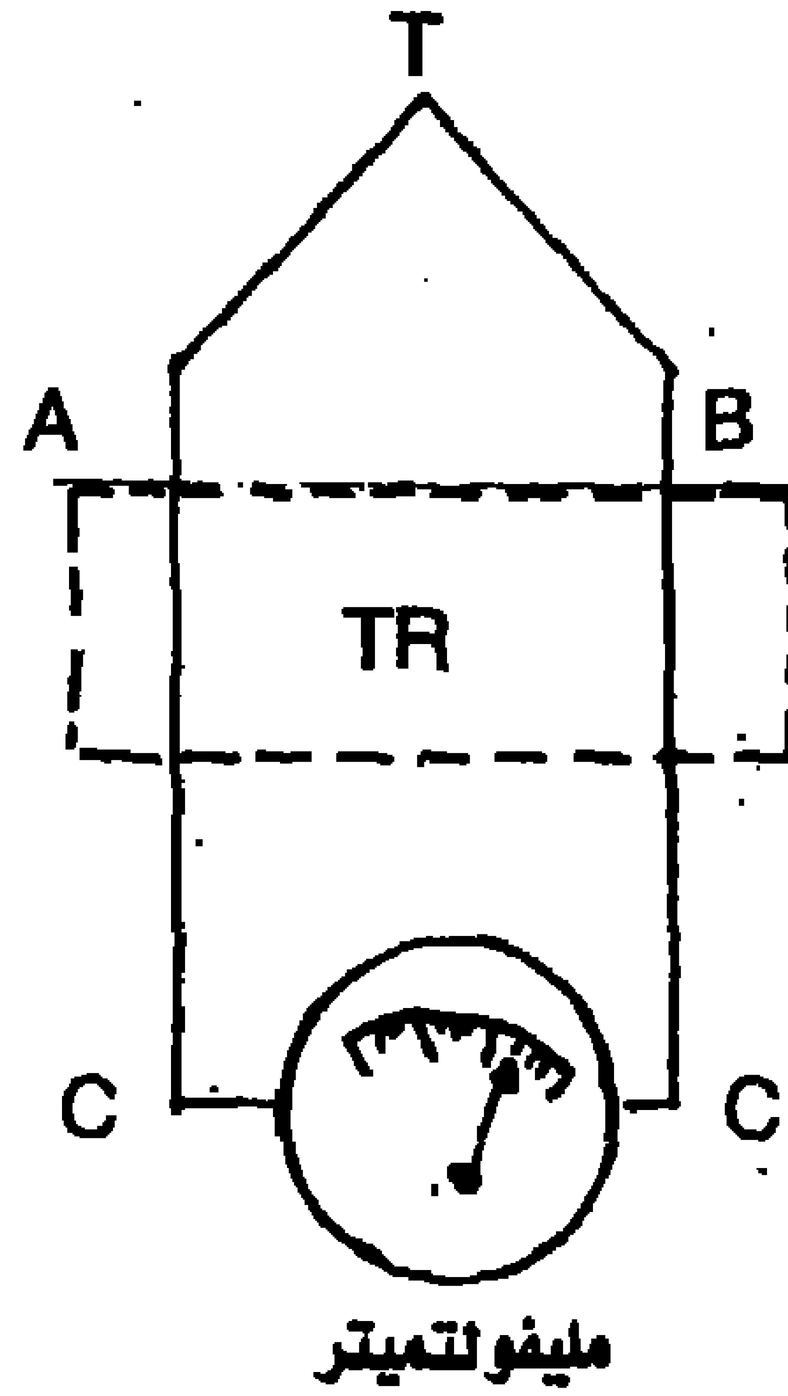
$$R = R_o (1 + B (T - T_o))$$

حيث :

Ro = المقاومة عند درجة حرارة استرشادية، To، فى مجال العمل.

يمكن تعيين درجة الحرارة بقياس مقاومة العنصر.

التجهيز الثانى لقياس درجة الحرارة المرتفعة هو الوصلة المعدنية بالمزدوجة الحرارية (Themocouple). عند توصيل معدنين غير متماثلين لتكوين وصلة واحدة، فإنه يتم إنتاج فرق جهد الذى مقداره يزداد مع زيادة درجة الحرارة. ترمومتر المزدوجة الحرارية يمكن تصنيعه من سلكيين من معدنين غير متماثلين (مختلفين) من معادن (B) , (A) مع زوج من الأطراف للأسلاك المعدنية (C). المعادن (A) , (B) يمكن أن تكون من العناصر مثل الحديد والنيكل، أو من السبائك مثل سبيكة Constantan (نحاس ونيكل) و (Chromel) وهو سبيكة من الكروم والألومنيوم. السلك الموصل (Lead) فى الأسلاك يكون نموذجياً من النحاس. تنظيم المزدوجة الحرارية موضح فى الشكل (1/8).



شكل (1/8) المذدوج الحرارى ذو الوصله البسيطة . AB,BC تظل عند درجة حرارة (TR)

الوصلة (AB) هى وصلة الاختبار المستخدمة لقياس درجة الحرارة. الوصلات (AC) و (BC) هى وصلات استرشادية وهى تظل عند درجة حرارة إرشادية ثابتة (TR). مع زيادة درجة حرارة وصلة الاختبار، فإن فرق الجهد خلال السلك الموصل (Lead) يزداد كذلك. معدل الزيادة فى فرق الجهد مع درجة الحرارة يسمى المزدوجة الحرارة لمعاملها (Seebeck).

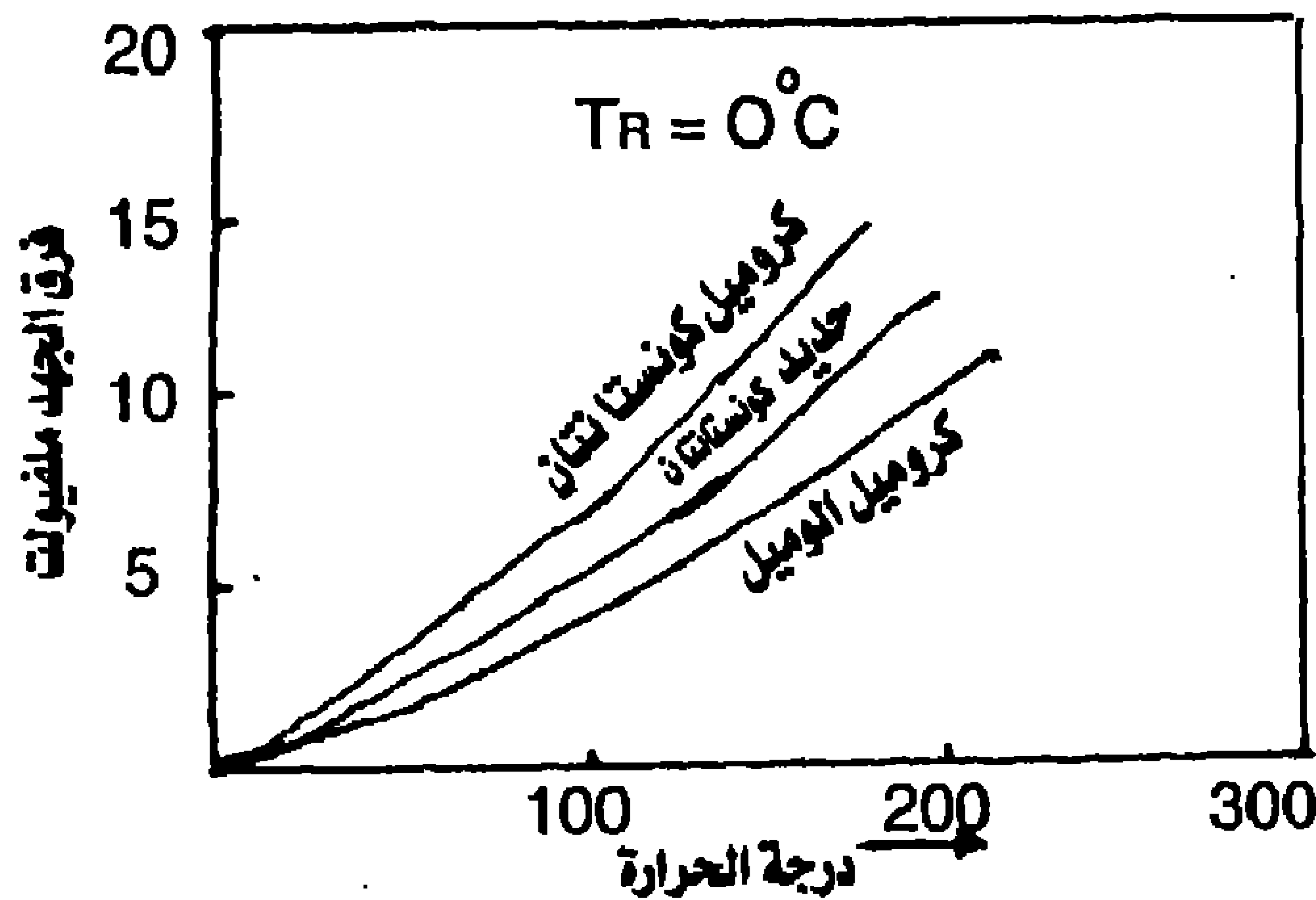
$$\alpha_{AB} = \frac{dVAb}{dT} \qquad (1)$$

هذا المعامل يتوقف على المعادن المكونة للوصلة ويتغير إلى حد ما مع درجة حرارة وصلة الاختبار. ولكن، ليس له علاقة بدرجة الحرارة الاسترشادية والمعدن المستخدم فى السلك الموصل (Lead). نظراً لأن معامل (Seebeck) يتوقف على درجة حرارة وصلة الاختبار فإن المعادلة (1) الأخيرة لا تؤدى إلى علاقة طولية بين فرق الجهد ودرجة الحرارة. بالنسبة لمعظم الوصلات (α_{AB}) تكون دلالة متغيرة ببطئ لدرجة الحرارة بحيث أن تلك المعادلة الأخيرة (1) يمكن أن يتم تكاملها كسلسلة طاقة فى الشكل

$$V_{AB} = a\,(T - T_R) + b\,(T - T_R)^2 + C\,(T - T_R)^3 + \ldots$$

حيث C, b, a وهكذا هى ثوابت لمجالات درجة حرارة التشغيل، فإذا كان فرق درجة الحرارة ($T - T_R$) صغيراً فإن التقريب الطولى الذى يتضمن الجزء الأول من المعادلة السابقة يكون عادة كافياً.

عادة تستخدم نقطة الثلج (Icepoint)، صفر درجة مئوية، كدرجة حرارة إرشادية، وصلة الدليل يمكن غمرها فى خليط من الماء والثلج أو يمكن تثبيتها على السطح حيث درجة حرارته تظل عند نقطة الثلج. قريباً، ثم تطوير نقطة ثلج (Ice- Point) اليكترونية كدليل والتى تتكون من دوائر تعويض درجة الحرارة التى تحاكى آليا حالات نقطة الثلج بصرف النظر عن درجة حرارة المجال المحيط. تغير (V_{AB}) و (T) لثلاث وصلات مختلفة. موضح فى الشكل (2/8).

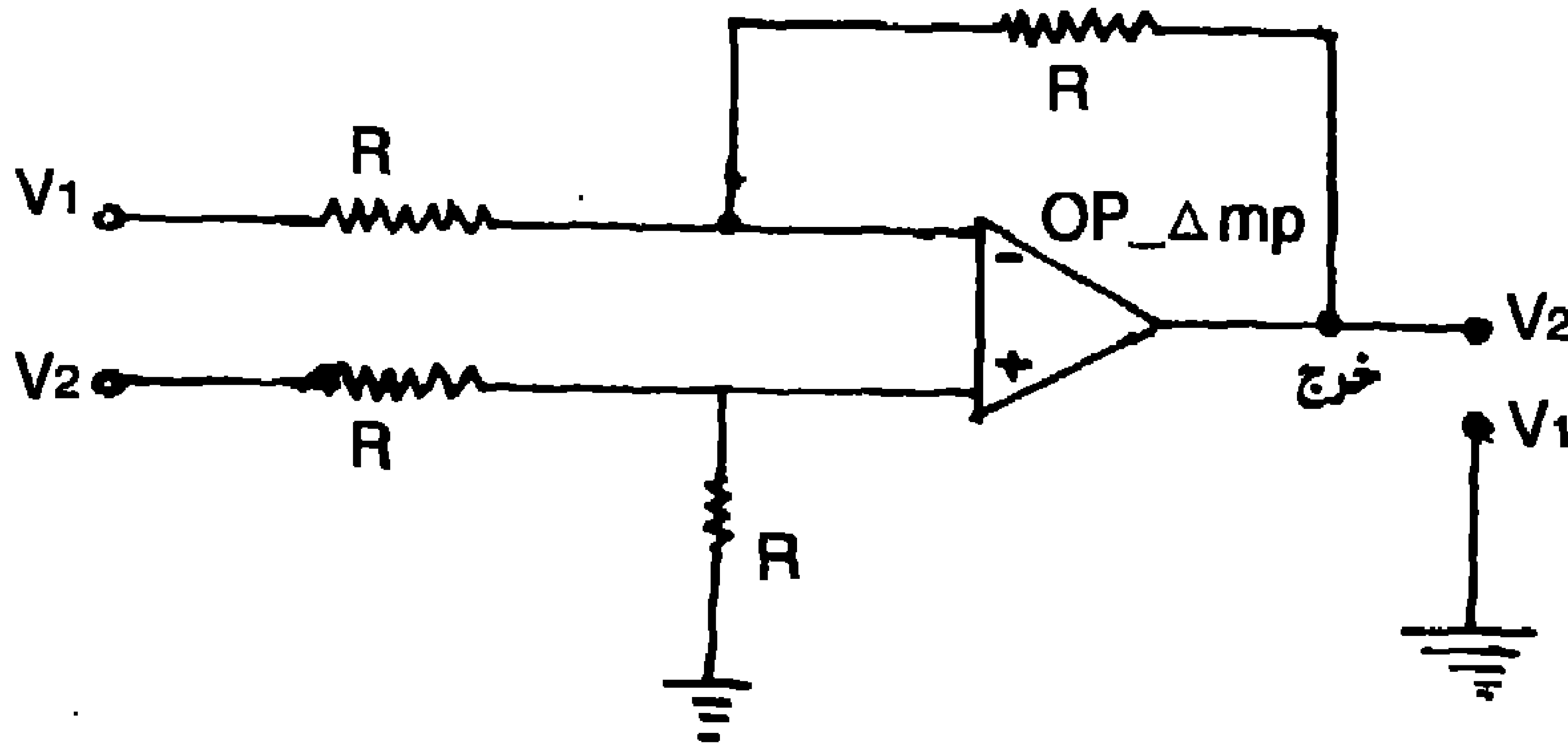


شكل (2/8) جهد المزدوج الحراري مقابل درجة الحرارة لمختلف المواد – الوصله الإرشادية فى كل حالة هى TR= صفر °م

المزدوجة الحرارة (Thermocouple) من الصعب استخدامها عندما تكون درجة الحرارة المطلوب قياسها قريباً من درجة الحرارة الإرشادية حيث أن إشارة الخرج

(Out put signal) صغيرة جداً بما يتطلب استخدام مضخم تيار مستمر للحصول على القراءة على الفولتميتر العادى. مشاكل يمكن أن تثار بسبب كلا من انحراف المضخم وفروق الجهد الثنائية الكهروحرارية (Secondary thermolelectric voltages) الناتج بفروق درجة الحرارة فى الدائرة. يكون من الممكن أحياناً استخدام سلسلة من المزدوجات الحرارية والتى تسمى (Thermopile) لتكبير العلاقة (Boost signal) ولكن، فى معظم الحالات عندما تكون درجة الحرارة ما بين نقطة الثلج ونقطة الغليان للماء يلزم قياسها، يكون من المناسب استخدام أقطاب موصلة شبه ميكرونية (Semiconductor probes). النوع المستخدم عادة هو المقاوم الحرارى (Thermister) وهو مقاوم خزفى شبه موصل تقل مقاومته بارتفاع درجة الحرارة. المقاوم الحرارى الخزفى يصنع من مادة شبه موصلة حيث معامل مقاومة درجة الحرارة يكون كبيراً وسلبياً (Large and negative) المعامل هو عشرة أضعاف لذلك للمعدن، بما يجعل المقاوم الحرارى عالى الحساسية للتغيرات فى درجة الحرارة. على عكس ما هو بالنسبة للمعدن فإن مقاومة المقاوم الحرارى تزداد بشدة مع زيادة درجة الحرارة. العلاقة بين المقاومة ودرجة الحرارة ليست خطية تماماً. باستخدام زوج من المقاوم الحرارى المصمم خصيصاً، فإنه يمكن الحصول على علاقة فرق جهد التى هى قريباً خطية فى درجة الحرارة.

عند اختبار قطاع شمسى (Solar panel)، فإننا عادة نحتاج الحصول على إشارة تقابل الفرق بين درجتين من درجات الحرارة مثل $(T_{fe} - T_{fi})$. يتم الحصول على ذلك بسهولة باستخدام دائرة تعرب المكبر لاختلافات (Differencing amplifier) الشكل (3/8) المكبر الأساسى المستخدم فى الاختلاف يسمى المكبر العملى (Operational amplifier).



شكل (3/8) باستخدام مضخم تشغيل لإنتاج جهد الخرج يساوى الفرق بين مدخلين فرق الجهد

وتلك متاحة في العديد من الدوائر التكاملية. المقاومات الخارجية تسمح باستخدام مكبر التشغيل (Operational amplifier) كمكبر اختلاف بحيث يمكن إنتاج خرج جهد مساوى للفرق بين اثنين دخل إشارات (Input signals). باستخدام مضخمات الاختلافية (Differencing amplifiers) لنقط مختلفة في نظام التسخين الشمسي.

3- قياسات تدفق السائل:

معدل التدفق لمائع الانتقال عندما يتم قياس السائل بأحد الطرق الآتية

أ- وزن الخزان (Weight tank): حيث الاحتياجات المناسبة تم مراعاتها لخفض الأخطاء بسبب التبخير.

ب- مقياس التدفق بالإزاحة الموجبة.

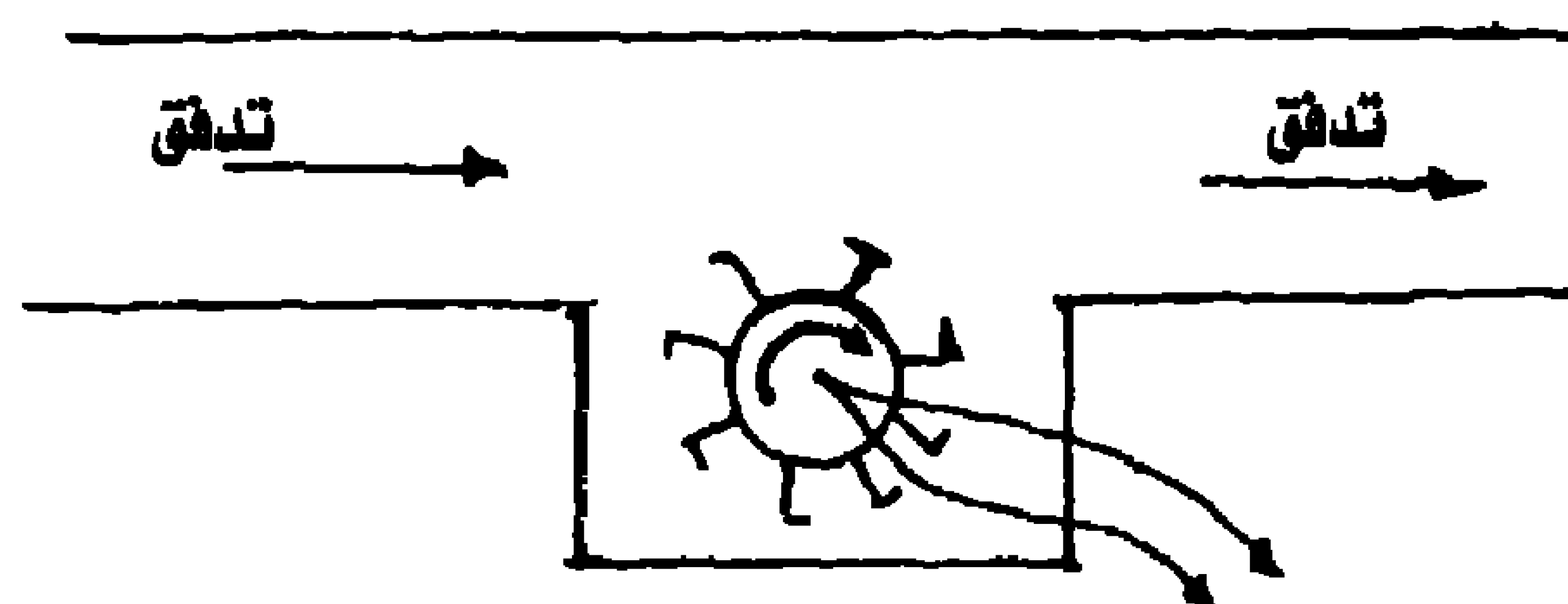
جـ- معدل التدفق بالتربين (فقط عندما يكون سائل الانتقال هو الماء النقي أو أن يكون قد تم معايرته بسائل الانتقال).

د- مقياس التدفق المغناطيسي.

إنه من الصعب إلى حد ما قياس تدفق الكتلة لمائع أكثر من درجة حرارتها. معدل التدفق أفضل تعيين له باستخدام حساس، في الخط (In line sensor) أي، الحساس الذي يوضع في مسار التدفق ويقيس مباشرة معدل التدفق. سوف نتناول هنا تلك المحساسات التي يمكن استخدامها لإنتاج الإشارات الكهربية. أحد الأنواع الأساسية للحساس المباشر أو في الخط هو عجلة البدال (Paddle wheel) التي توضع في مسار التدفق مباشرة. السرعة الزاوية للعجلة تتناسب مع سرعة تدفق المائع، والذي بالتالي يمكن أن ترتبط بمعدل حجم التدفق (مثال، متر مكعب في الثانية). يتم قياس السرعة الزاوية بواسطة التاكوميتر (Tachometer) وهو عدد دورات أو مقياس السرعة الزاوية لعمود دوار) الذي ينتج إشارة تتناسب مع معدل حجم التدفق. معدل تدفق الكتلة يتعين من معدل التدفق الحجمي (V) باستخدام العلاقة

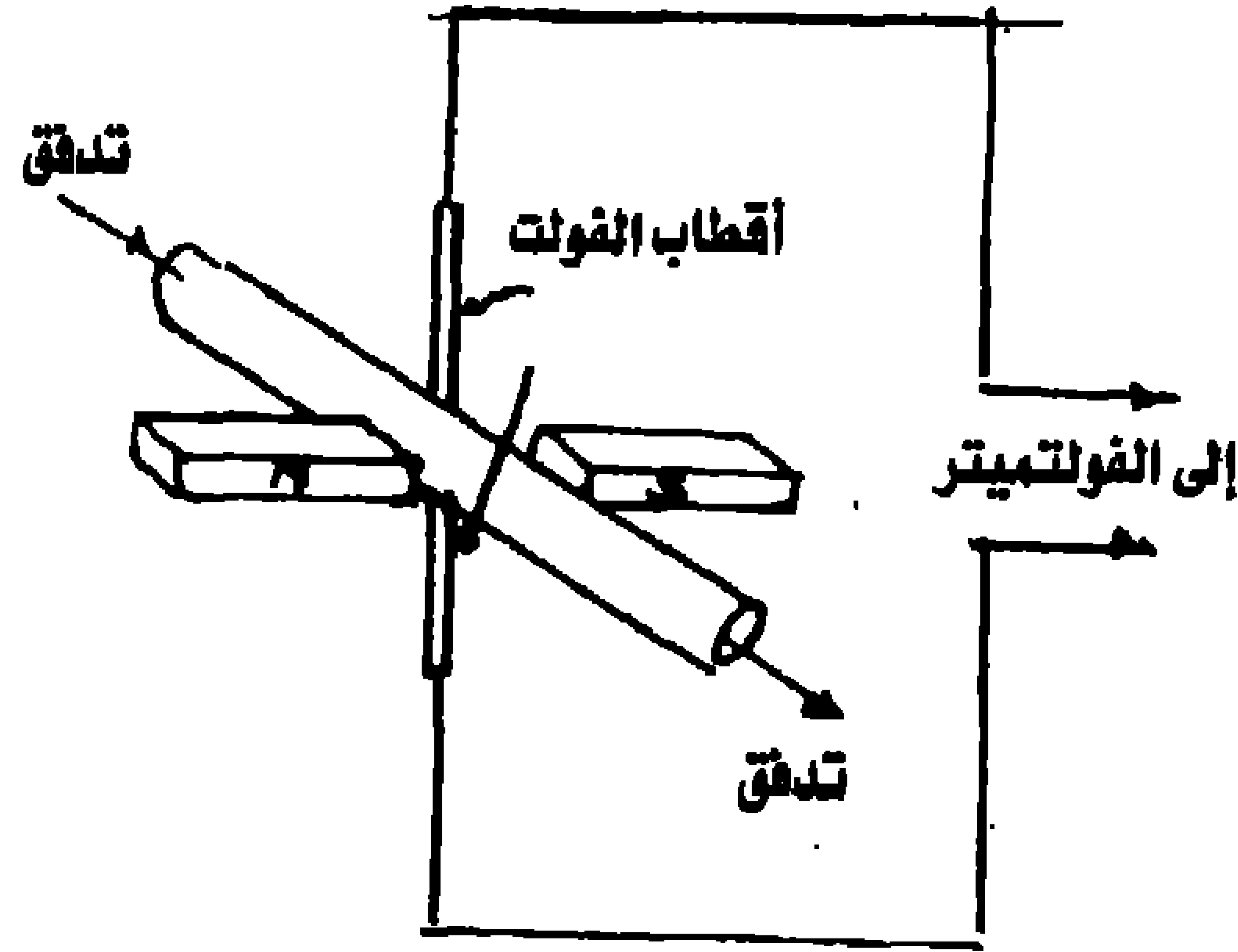
$$M = PV$$

حيث P = كثافة الكتلة للمائع.



شكل (8/4) مقياس سرعة الريح بمقياس التدفق

نوع آخر للمحساس فى الخط (In line sensor) وهو النوع المغناطيسى. ليس له أجزاء متحركة ويفيد فى قياس معدلات التدفق لسائل التوصيل. حتى أن الماء بكمية صغيرة من الملوثات يكون موصل إلى حد ما. عندما يتوقف سائل التوصيل خلال مجال مغناطيسى فإنه يتم إحداث فرق جهد يتناسب مباشرة مع سرعة التدفق كما فى الشكل(5/8).



شكل (5/8) مقياس التدفق المغناطسى

علامة فرق الجهد هذه يمكن استخدامها لبيان معدل التدفق.

يوجد عدد من تجهيزات أخرى لقياس معدلات التدفق. أحد مثل هذه التجهيزات يتكون من زوج من مجسات درجة الحرارة (Temperature probes) موضوعين فى أجناب متقابلة (متعاكسة) من عنصر التسخين. العنصر والمحبس يوضعوا مباشرة فى مسار التدفق. المائع الذى يترك عنصر التسخين يكون بالضرورة أكثر سخونة مقارنة بالمائع الداخل. الفرق فى درجة الحرارة فى المائع يقل مع زيادة معدل التدفق والعكس صحيح. لذلك، فإن علاقة الفرق فى درجة الحرارة بواسطة المجسات يمكن استخدامها لتمثيل معدل التدفق.

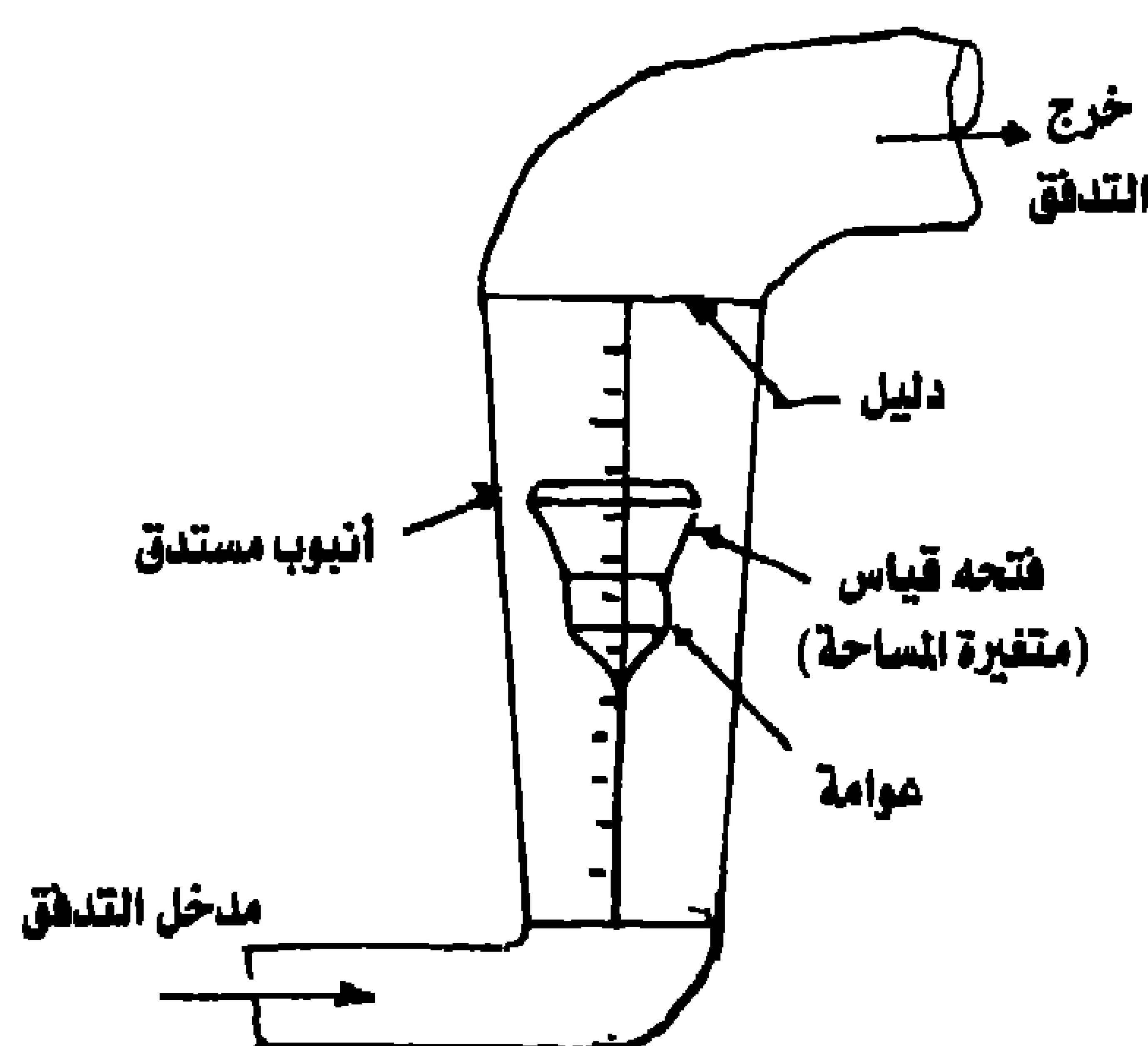
نوع آخر من التجهيزات المستخدمة لتعيين معدل التدفق بقياس الضغط، عند تدفق سائل من قناة واسعة إلى أخرى ضيقة فإن سرعة التدفق تزداد، بما ينتج عنه انخفاض فى الضغط. الفرق فى الضغط بين نقطة فى القناة الواسعة وأخرى فى القناة الضيقة يزداد مع زيادة معدل التدفق. لذلك، فإن إشارة فرق الضغط يمكن استخدامها لتمثيل معدل التدفق. مع إهمال الفقد الحرارى والفقد بالاحتكاك فإن الطاقة الكلية تظل ثابتة، لدرجة أن الزيادة فى الطاقة الحركية يتم تعويضه بخفض فى الضغط. الفقد فى الضغط يتم قياسه بواسطة مقياس الضغط (monometer) المستخدم لقياس فرق الضغط والسرعة ليتداخل من فرق الضغط. مثل تلك التجهيزات تسمى تجهيزات الإعاقة

(Obstruction devices) وهى أحياناً تسمى مقاييس الضغط (Head meters) بسبب الفقد فى الضغط الرأسى أمثلة لهذا النوع هى الtنشورى (Venturies) الفنية و البزبوز (Nozzles) الفتحات (Orifices).

عند استخدام الهواء كسائل الانتقال، وحيث يكون معدل تدفق الهواء كبيراً، فإنه يتم القياس بجهاز الفنية (Nozzle) بسرعة الهواء الماء خلال الفنية يتم تعيينها إما بقياس سرعة الضغط الرأسى (Velocity head) بواسطة أنبوب بتوت (Pitot Tube) أو بزيادة الفقد فى الضغط الاستاتيكى خلال الفنية بواسطة جهاز قياس الضغط (Msnometer). وحيث يكون معدل تدفق الهواء صغيراً بحيث أن البنربوز المنشأ طبقاً للمتطلبات السابقة سيكون له قطر زور أصغر من 2.5سم. والشكل السابق لا يتم استخدامه ويمكن استخدام جهاز قياس تدفق الهواء مثل الفنشورى أو الثقب (Orifice).

مقياس الدوران: (Rotameter)

مقياس الدوران هو تجهيز لقياس التدفق والتى هى أساساً مقياس الثقب (Orifice Meter) بخفض ثابت فى الضغط وتغير فى مساحة الثقب. الشكل (6/8). التدفق يدخل قاع الأنبوب العمودى. المستدق (Tapered) ويسبب العوامة (Float) تتحرك إلى أعلا. العوامة ترتفع إلى نقطة فى الأنبوب بحيث أن قوى السحب (Drag) يتم موازنتها بقوة الطفو والوزن. مكان العوامة فى الأنبوب يتم عندئذ تسجيله كبيان لمعدلات التدفق. المقياس الدوران (Rotameter) لقياس سرعة دوران الموائع له ميزة أساسية مقارنة بالأنواع الأخرى من مقاييس الاختناق فى أن التدريج يتناسب مع التدفق، حيث قراءة التدريج للمانوميتر المتصل بالفتحة يتناسب مع مربع التدفق. لذلك، لنفس طول التدريج، فإن مجال التدفق للمقياس الدوار يكون أكبر كثيراً.



شكل (6/8) مقياس التدفق الدوار

4- قياسات الضغط :

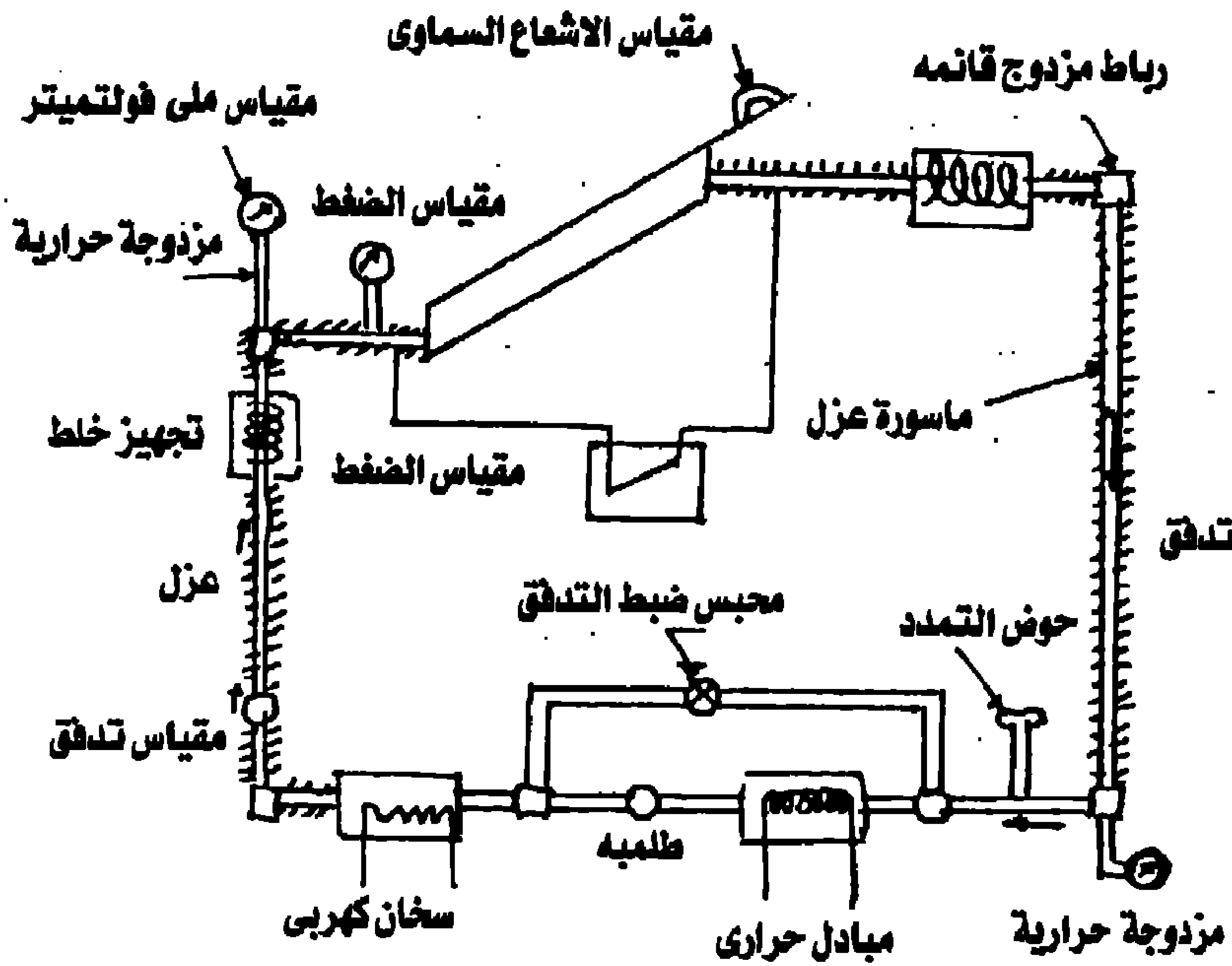
الفقد فى الضغط الاستاتيكى خلال المجمع الشمسى يتم قياسه باستخدام مقياس الضغط (Manometer) للغاز أو السائل. عند استخدام الفنية فإن الضغط الاستاتيكى خلال الفنية وضغط السرعة عند زور الفنية (Nozzle) يتم قياسه باستخدام مقياس الضغط.

5- سرعة الريح :

سرعة الريح يتم قياسها باستخدام جهاز وتجهيز قراءة التى يمكن أن تعين متوسط سرعة الريح التكاملية لكل 15 دقيقة لفترة اختبار بدقة ذات ± 0.8 متر فى الثانية. عموماً تستخدم مقاييس الضغط.

طرق الاختبار : (Methods of testing)

شكل الاختبار للمجمع الشمسى المستخدم السائل كمائع انتقال موضع فى الشكل (7/8).



شكل (7/8) اختبار المجمع الشمسى عندما يكون مائع الانتقال الحرارى هو السائل

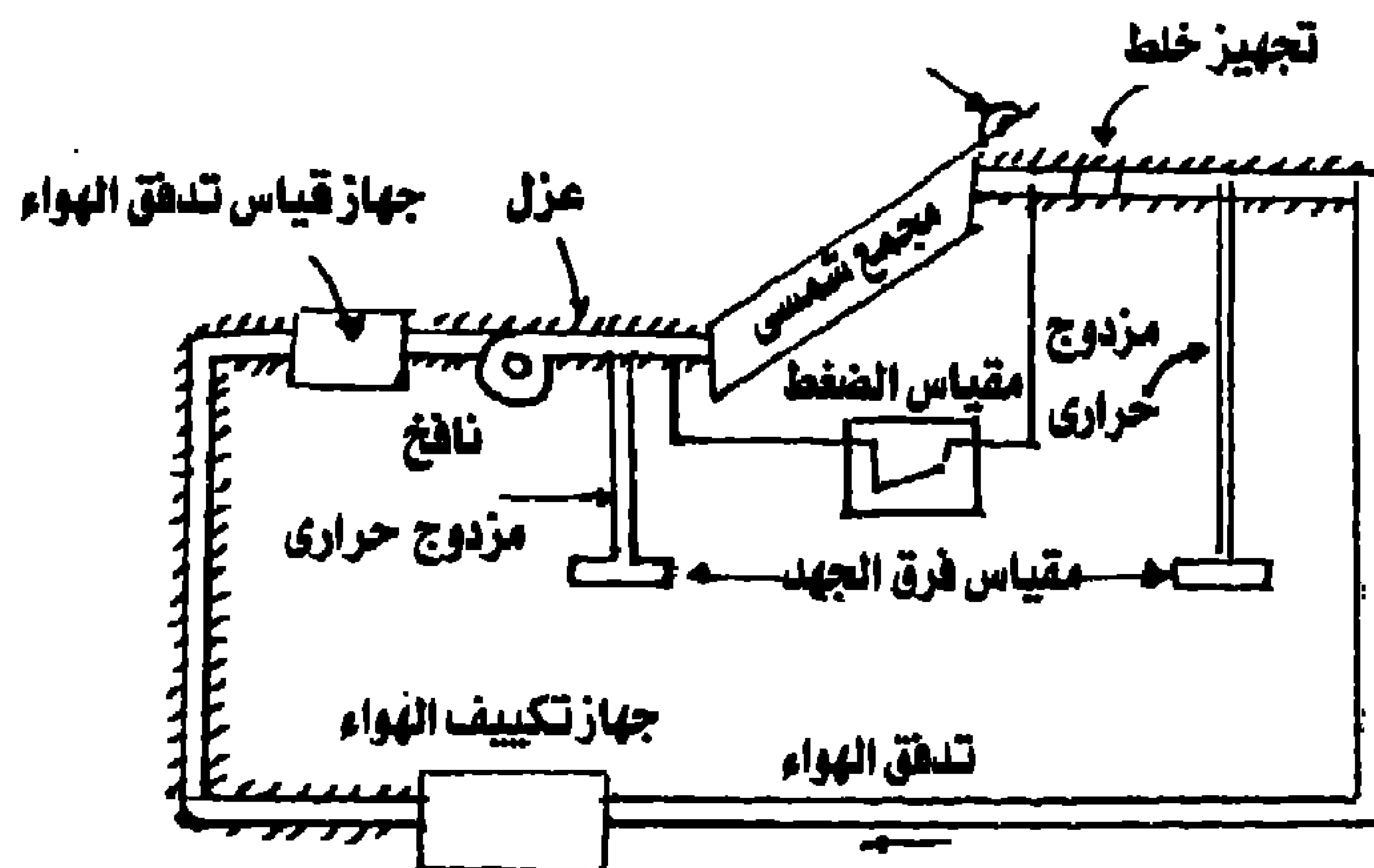
وهو عبارة عن حلقة مقفلة يتكون من مجمع السطح المستوى تحت الاختبار، طلمبة السائل، مبادل حرارى. وسخان كهربى. يتم توفير ممر جانبى حول الطلمبة

بحيث أن معدل تدفق الكتلة يمكن ضبطه إلى القيمة المطلوبة. درجة حرارة الدخول يتم كذلك ضبطها وإحكامها بواسطة مبادل حراري وسخان كهربي.

يتم تركيب المجمع الشمسي على إطاره القوى وعند زاوية ميل مسبق تحديدها (للمجمعات الشمسية الثابتة) أو الإطار المتحرك (للمجمعات المتحركة) و مثبت جيداً مع الأساس بحيث أن المجمع يمكنه الإمساك والاحتفاظ بوضعه الزاوي الاختياري مقابل الهبوب القوي للريح.

مقياس الإشعاع السماوي (Pyranometer) يتم تركيبه على السطح موازياً لسطح المجمع بالطريقة حيث لا يلقي ظلال على لوح المجمع. يتم قياس درجة الحرارة والضغط كما سبق ذكره.

شكل الاختبار للمجمع الشمسي المستخدم للهواء كمجال لمائع الانتقال موضع في الشكل رقم (8/8).



شكل (8/8) مخطط اختبار المجمع الشمسي عندما يكون مائع الانتقال الحراري هو الهواء

هنا المجمع الشمسي كذلك يتم تركيبه على إطارة القوى عند زاوية سبق تحديدها (للمجمعات الثابتة) أو الإطار المتحرك (للمجمعات المتحركة) ومثبت بشدة في الأساس بحيث أن المجمع يمكنه إمساك وضعه الزاوي المختار مقابل الهبوب الشديد للريح. سخان الهواء يمكن أن يكون له شكل مختلف.

مقياس الإشعاع الشمسي يتم تركيبه كما تم وصفه في الحالة السابقة. يجب الحرص نحو خفض طاقة الانعكاس والإشعاع من المجمع الشمسي على مقياس الإشعاع الشمسي.

مسار الهواء الداخل (ماسورة) ما بين جهاز مقياس تدفق الهواء والمجمع الشمسى، بحيث أن يكون له نفس مساحة المقطع أو الأبعاد مثل مجموعة مواسير الدخول (Inlet Manifold) نحو المجمع الشمسى، أداء سخان الهواء يتوقع أن يتأثر بأعمال المواسير الداخلة والخارجة من المجمعات الشمسية أكثر كثيراً عنه فى حالة المجمعات الشمسية المستخدمة للسائل كمجال انتقال.

العامود الحرارى (البطارية الحرارية Thermopile) يتم استخدامه لقياس الفرق بين درجة حرارة دخول الهواء ودرجة حرارة خروج الهواء للجامع الشمسى. حيث أن المائع هو الهواء، فإنه يتم تأكيد أنه تام الخلط عند المخرج، من سخان الهواء قبل قياس درجة حرارته. الخلط يتم بمساعدة ريش (Vanes). درجة حرارة كلا من دخول وخروج سخان الهواء يتم قياسها عند عدد من الأماكن عبر مقطع الماسورة (Duct). ضغط هواء الماسورة (Duct) (الهبوط فى الضغط الاستاتيكى) يمكن قياسه باستخدام مقياس الضغط. تدفق الهواء يمكن قياسه بواسطة الفنية (Nozzle)، أو الفتحة (Orifice) أو بواسطة الفنشورى طبقاً للتصميم.

الفصل التاسع

تخزين الطاقة الشمسية

Storage of Solar Energy

مقدمة :

الطاقة الشمسية هى مصدر متقطع للطاقة ويعتمد على الوقت. عموماً احتياجات الطاقة فى كثير من الاستخدامات هى كذلك تتوقف على الوقت، ولكن بطريقة مختلفة عن الإمتداد بالطاقة الشمسية. لذلك فإن هناك حاجة ملحوظة لتخزين الطاقة أو منتج آخر للعملية الشمسية، إذا كانت الطاقة الشمسية يجب أن تحقق متطلبات الطاقة. هذه المشكلة حادة خاصة للطاقة الشمسية عند استخدامها فى التدفئة المنزلية فى فصل الشتاء، يسبب احتمالها الضعيف خلال تلك الفترة. العناصر الرئيسية لنظام عملية الطاقة الشمسية هى المجمع الشمسى، وحدات التخزين، تجهيزات التحويل (مثل المحركات أو مكيفات الهواء)، الأحمال، إمدادات الطاقة الإضافية ونظام التحكم. خواص وأداء كل من تلك العناصر يكون مرتبطاً بالأخرى.

أقصى طاقة لنظام تخزين الطاقة يتوقف عموماً على العوامل الآتية:

1- الوقت المتوقع اعتماده على احتمالات الإشعاع الشمسى.

2- طبيعة الأحمال المتوقعة على العملية.

3- درجة الاعتمادية المطلوبة للعملية.

4- الطريقة التى يتم بها الإمداد بالطاقة الإضافية.

5- التحليل الاقتصادى الذى يعين عادة مقدار الأحمال المستخدمة بواسطة الطاقة الشمسية والأخرى بواسطة مصادر الطاقة الإضافية.

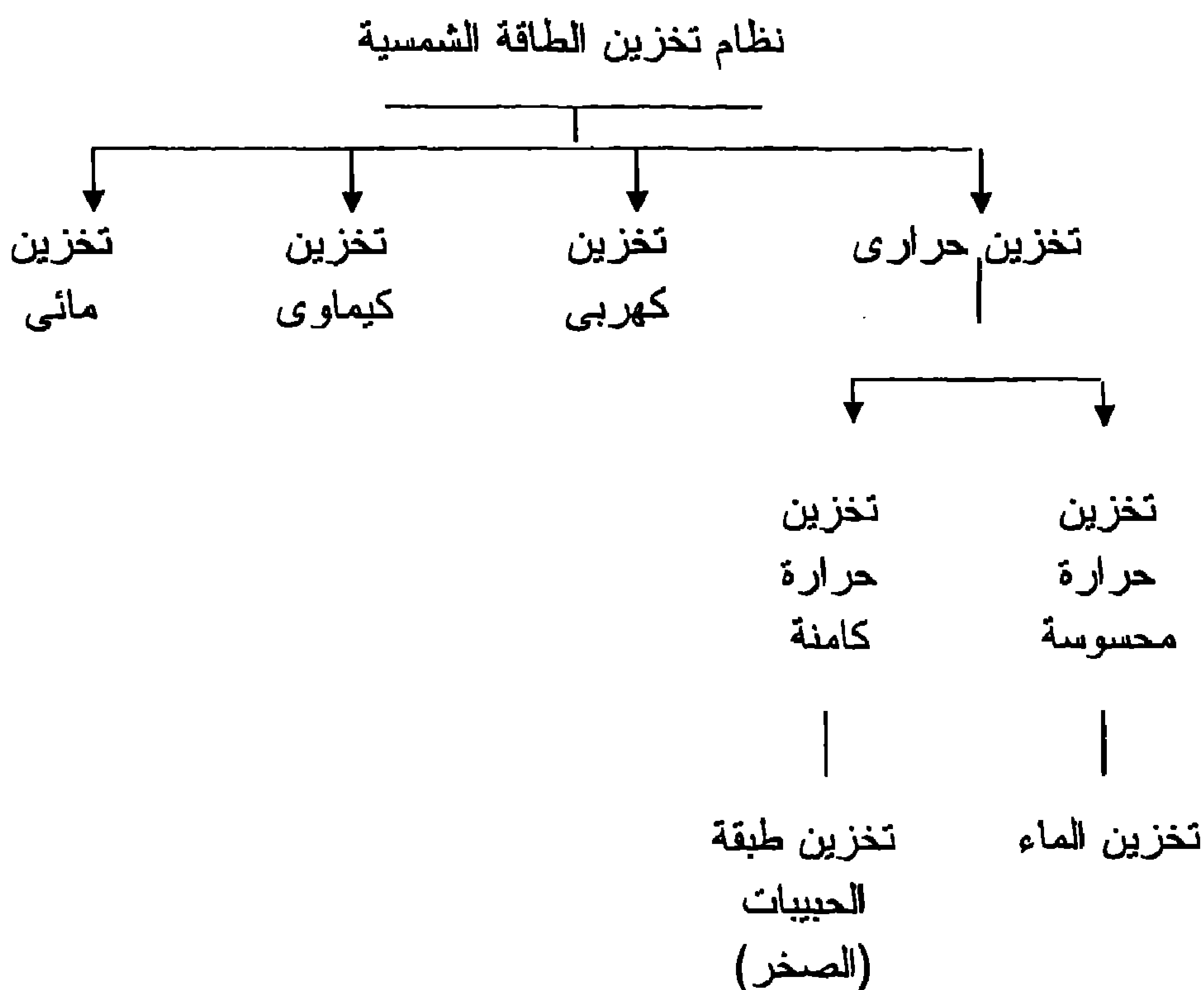
تخزين الطاقة يمكن أن يكون فى شكل حرارة ملموسة لمجال صلب أو لمجال سائل، مثل حرارة الانصهار للنظم الكيماوية أو كطاقة حرارية للمنتجات فى التفاعل الكيميائى العكسى. الطاقة الميكانيكية يمكن تحويلها إلى طاقة كامنة أو طاقة وضع (Potential Energy) وتخزينها فى سوائل على ارتفاع عالى. ناتج العمليات الشمسية بخلاف الطاقة يمكن تخزينه كمثال الماء المقطر من المقطر الشمسى يمكن تخزينه فى خزانات لحين الحاجة إليه.

اختيار المجال لتخزين الطاقة يعتمد على طبيعة العملية. بالنسبة لتخزين الطاقة بتسخين المياه كحرارة محسوسة لتلك المياه المخزنة من الطاقة المنطقية. فى حالة استخدام المجمعات لتسخين الهواء، فإن التخزين فى حرارة ملموسة أو حرارة كامنة أثر فى وحدات التخزين تحديداً كما هو مبين مثل الحرارة الملموسة فى طبقة الحبيبات للمبادل الحرارى. فى حالة استخدام العمليات الكيماوية الضوئية (Photochemical) أو الضوئية الفولتية يكون التخزين منطقياً فى شكل طاقة كيماوية.

الخواص الرئيسية لنظام تخزين الطاقة الحرارية هى:

1- طاقته لوحدة الوزن أو الحجم.
2- مجال درجة الحرارة الذى يعمل خلاله أى درجة الحرارة التى عندها يتم إضافة حرارة إلى وإزالتها من النظام.
3- طرق الإضافة أو إزالة الحرارة وفرق درجة الحرارة المصاحب لذلك.
4- طبقات درجة الحرارة فى وحدة التخزين (Stratification).
5- متطلبات الطاقة الإضافة أو سحب الطاقة.
6- الحاويات، الخزانات أو العناصر الإنشائية الأخرى المصاحبة لنظم التخزين.
7- وسائل إحكام الفقد الحرارى من نظم التخزين.
8- التكلفة.

أنواع تخزين الطاقة :



نظم تخزين الطاقة الشمسية يمكن تقسيمها عموماً كالآتى:

أ- تخزين حرارى.

ب- تخزين كهربى.

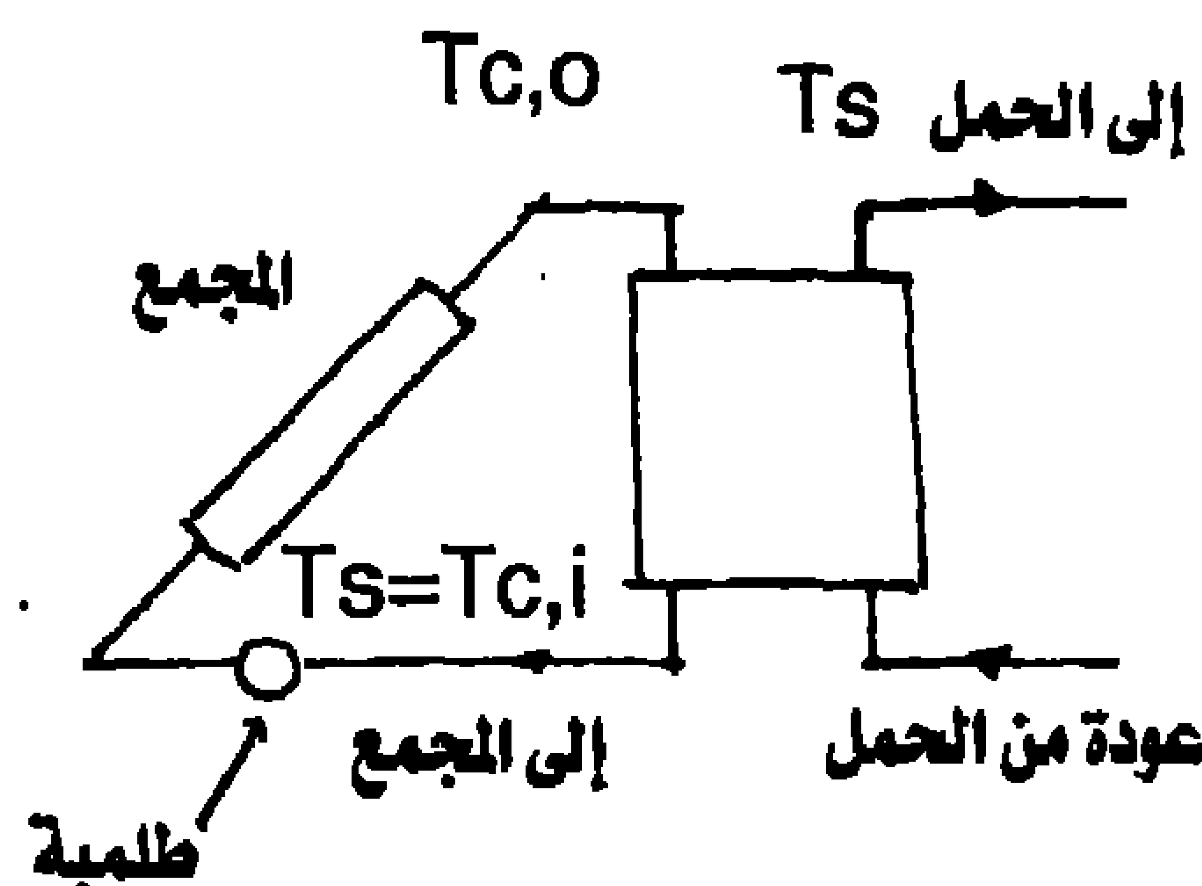
جـ- تخزين كيمائى.

د- تخزين مائى (Hydrostorage)

التخزين الحرارى :

يمكن تخزين الطاقة الشمسية بالتسخين، الإذابة أو التبخير للمادة، وتصبح الطاقة متاحة كحرارة عند انعكاس العملية. التخزين يرفع درجة حرارة المادة يسمى تخزين الحرارة المحسوسة (Sensible heat storage). التخزين بتغير المجال مثل التحول من الصلب إلى السائل أو من السائل إلى البخار وهو شكل آخر من الطاقة الحرارية والمعروف بتخزين الطاقة الكامنة (Latent Heat storage)، حيث لا يحدث فيه أى تغير فى درجة الحرارة. من الممكن لتخزين الحرارة بكل من الحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة ليتم فى نفس المادة، كما يتم تسخين المادة الصلبة، ثم الإذابة، ثم ارتفاع درجة الحرارة.

تخزين الطاقة الحرارية يكون أساسياً لكل من المياه المنزلية وتطبيقات التدفئة المنزلية وفى نظام التخزين لدرجة الخرارة العالية اللازمة لاستخدامات الطاقة الحرارية. كذلك التخزين مطلوب فى العمليات الصناعية وفى زراعة البساتين (Horticultaral) . اختيار مادة التخزين يتوقف على الاستخدام المعين وعلى كثير من الاستخدامات المنزلية، نظم التخزين بالصخر أو الماء ثم تطويرها. الماء والصخر هما مثال نموذجى للمادة التى تحتفظ بالطاقة والحرارة النوعية (الحرارة المحسوسة)، ولكن استخدامهم يكون محدوداً بسبب حرارتهم النوعية المحدودة نسبياً. حرارة الانصهار. (الحرارة الكامنة) التى تنتج عند تغير حالة المادة من الصلب إلى السائل توفر طريقة جذابة لتخزين كمية معينة من الطاقة خلال حجم صغير جداً. ملح جلوبر ($Na_2SO_4.10H_2O$) هو الأقل تكلفة والمتاح كملح مائى. لتخزين درجة الحرارة العالية فيما بين 200° إلى 300°م، أملاح أخرى تم استخدامها وحرارة التميؤ للأكاسيد الغير عضوية أساسا MgO، و CaO.



شكل (1/9) وحدة تخزين المياه . تضاف الطاقة بتدوير الماء خلال المجمع وتزال بتدوير المياه من خلال الحمل

1- تخزين الحرارة المحسوسة : (Sensible Heat storage)

تخزين الحرارة المحسوسة يتضمن المادة التى لا يحدث لها أى تغيير فى المجال خلال نطاق درجة الحرارة التى تلاقى فى عملية التخزين. المعادلة الأساسية لوحدة تخزين الطاقة خلال فرق محدود فى درجة الحرارة هى:

$$Qs = (mCp)s\ (T1 - T2)$$

حيث:

Q = إجمالى إمكانيات الطاقة الحرارية لدورة تعمل بين حدود درجة حرارة (T2) ، (T1), حيث (m) كجرام من مجال التخزين بحرارة نوعية (Cp).

مجال درجة الحرارة الذى خلاله يمكن أن يعمل مثل هذا النظام يكون محدوداً عند الحدود السفلى بمتطلبات العملية، والحد الأعلى بعملية ضغط البخار للسائل.

فى حالة إنتاج الحرارة المضافة زيادة فى درجة الحرارة فقط فى الوسط (Medium)، فإننا نقول أن الطاقة الحرارية يتم تخزينها كحرارة محسوسة. طالما أنه لا يوجد تغير فى المجال، فإن الارتفاع فى درجة الحرارة يتناسب تقريباً مع الحرارة المخزنة ويتناسب عكسياً مع الكتلة. يمكن كتابة التغير فى درجة الحرارة كالآتى:

$$T_1 - T_2 = \Delta T = Qs/(mCp)s$$ (تخزين الحرارة المحسوسة)

عند استخلاص الحرارة المحسوسة من الوسط أى المجال، فإن درجة الحرارة تنخفض طبقاً للمعادلة السابقة. المعيار الهام فى نظام التخزين الحرارى هو الحرارة المخزنة فى وحدة الحجم. بالنسبة لتخزين الحرارة المحسوسة يمكن كتابة المعادلة السابقة كالأتى:

$$\frac{Qs}{Vs} = \frac{(mcp)s\Delta T}{Vs} = Ps\ Cp\ \Delta T$$

حيث:

Vs = حجم معين لوعاء التخزين

Ps = هى كثافة مجال (وسط) التخزين

لذلك، القدرة على تخزين الحرارة تتوقف على المنتج (PCp)، الماء كان أعلا قيمة، ولكن مواد أخرى لها قيم منخفضة.

المواد المستخدمة عموماً لهذا النوع من التخزين هى:

1- الماء. 2- الصخر فى شكل زلط أو مطحون.

3- قطع الحديد.

4- الحديد، أكسيد الحديد الأحمر أو خام الحديد المسمى الحديد المغناطيسى.

5- الخرسانة.

6- المواد الحرارية مثل أكسيد المغنسيوم، أكسيد الألومنيوم، واكسيد السيليكون.

خواص بعض مواد التخزين للحرارة المحسوسة كالآتى :

الخاصية	المادة					
	ماء	صخور	الحصا	MgO	Al_2O_2	SiO_2
الكثافة (P) كجرام/م3	958.4	2245	1350	3575	4000	2600
الحرارة النوعية (Cp) كيلوجول/كجرامK^o	4.22	0.81	0.9	1.06	1.02	1.26
Cp.P (كيلوجول/م^3 K^o)	4044	1818	1215	3790	4080	3276
التوصيل الحرارى (W/m^oK)	0.683	0.13	0.85	10.5	6.3	2.3

التخزين بالماء : (Water storage)

السائل الأكثر استخدام للانتقال الحرارى للنظام الشمسى هو الماء، وأسهل طريقة لتخزين الطاقة الحرارية هى تخزين الماء مباشرة فى خزان معزول جيداً. الحجم المثالى للخزان لنظام المجمع الشمسى باللوح المستوى هو عادة 70كجرام/المتر المربع (أو 70 لتر/متر مربع). الماء له الخواص الآتية كوسط تخزين:

1- غير مكلف، متاح، مادة مفيدة فى تخزين الحرارة المحسوسة.

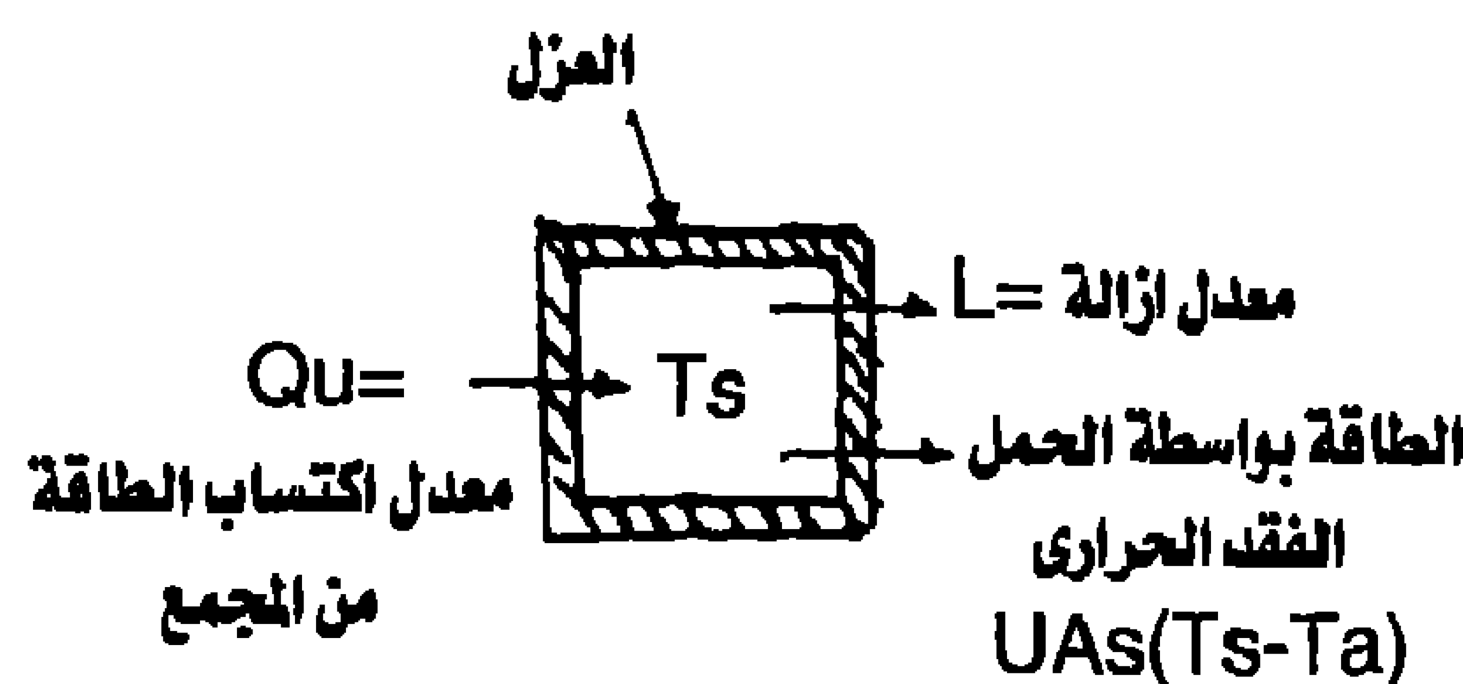
2- له طاقة تخزين حرارى عالية.

3- إضافة وإزالة الطاقة من هذا النوع من التخزين يتم بالوسط نفسه، لذلك عدم حدوث أى انخفاض فى درجة الحرارة بين نقل السائل ووسط التخزين.

4- تكلفة الضخ منخفضة.

5- وحدات التجميع والتخزين يمكن أن تعمل بالتدفق الطبيعى فى استخدامات سخانات الماء الشمسية المنزلية، أو يمكن استخدام التدوير عنوة (Forced circulation).

دعنا نتناول نظم التدوير عنوة كما هو موضح فى الشكل (2/9).



شكل (2/9) التخزين الغير طباقى

إمكانية تخزين الطاقة لوحدة تخزين بالماء طبقاً للمعادلة السابقة تناولها = Qs (mCp)s (T1-T2)، ما بين حدود درجة الحرارة (T1) , (T2).

بالنسبة للخزان الغير طبقى (Non stratified) الموضح فى الشكل ص 265 فإن ميزان الطاقة للخزان ينتج

$$(mCp)_s \frac{dTs}{dt} = Q_u - L - (UA)_s (T_s - T_a)$$

حيث:

L , Qu = هما معدلات الإضافة والإزالة للطاقة من المجمع والحمل على التوالى.

m = كتلة التخزين الغير طبقية التى تعمل عند درجة حرارة مستقلة عن الوقت (Ts) فى درجة الحرارة العادية (Ta).

المعادلة السابقة هذه يمكن استخدامها لاستنتاج درجة حرارة حوض التخزين بدلالة الوقت.

يمكن كتابة تلك المعادلة لتتضمن درجة الحرارة ومعدلات التدفق للمجمع وسيل تدفق الحمل. مع إهمال أى هبوط فى درجة الحرارة للمائع ما بين الخزان والمجمع (Collector)، فإنه يمكن كتابة Q كالآتى:

$$Qu = (mCp)c\ (Tco - Ts)$$

حيث:

(mCp)c = معدل التدفق × الحرارة النوعية للسائل خلال المجمع

Tco = درجة حرارة خروج السائل

Qu = يتم حسابها من معادلة المجمع أى

$$Q_u = A_C\ F_R\ [S - U_L\ (T_{ft} - T_a)]$$

معدل تدفق المجمع (m) يمكن التفكير فيه كمعدل التدفق الحقيقى خلال المجمع فى أى وقت، أو يمكن رؤيته كمعدل الضخ عند عمل المضخة مع تلك المعادلة والتى يمكن تطويرها.

$$Qp = F\ (mCp)c\ (Tco - Ts)$$

حيث:

F = دلالة التحكم ذات قيمة واحد عند عمل المضخة وقيمة صفر فى أوقات أخرى.

لذلك فإن دلالة التحكم تكون النظير الملائم لـ "ON" أو "OFF" لخرج (Outputs) للحاكم على الطلمبة، والذى يحول الطلمبة "On" عندما تكون Tco >Ts (أى عندما يمكن إضافة طاقة إلى وحدة التخزين). باستخدام هذا المهفوم فإن معدل التدفق يكون (Fm).علاقات مشابهة يمكن كتابتها للحمل. تلك المعادلات يمكن حلها عددياً للحصول على (Ts) وتختلف كميات الطاقة بدلالة الوقت. من خلال طاقة إضافية يمكن تضمينها كذلك، فى حالة إضافتها إلى الخزان أو فى التدفق الذى يترك الخزان نحو الحمل.

كذلك فإن خزانات المياه يمكن أن تعمل بدرجة كبيرة من الطبقية (Stratification) أى حيث الماء ليس ذو درجة حرارة متجانسة خلال البعد العمودى للخزان. فى هذه الحالة، فإن ميزان الطاقة يكون مشابهاً للمعادلة

$$(mCP)s\ dTs/d\tau = Qu - L - (UA)s\ (Ts - Ta)$$

والتى يمكن كتابتها لمقاطع الخزان:

درجة حرارة الماء فى الخزان تزداد بالتدريج بإضافة الحرارة. إذا كان الخزان مضغوطاً، فإن حدود درجة الحرارة سوف تكون أقل قليلاً من درجة حرارة غليان الماء عند ضغط الخزان.

الخزان الغير مضغوط يتم تنفيثها (Vented). الخزانات المضغوطة هى عموما غير قابلة للتطبيق للنظم الصغيرة للتسخين أو التبريد التجارى أو المنزلى بسبب ارتفاع تكلفتها.

خزان التخزين الحرارى بانتقال الحرارى (للتبريد أو التسخين) بواسطة مائع دوار محصور Hydronic thermal storage

تلك يمكن إنشاءها من الصلب، الخرسانة، البلاستك. خزانات الصلب عادة تكون مبطنة بمواد مثل بيوتايل المطاط(Butyl Rubber) أ, بمادة طلاء مناسبة مثل الكولتار ايبوكسى لمنع حدوث الصدأ. مهما كان نوع التغطية الداخلية فإنه يجب أن تقاوم درجات الحرارة العالية التى تحدث فى خزان الحفظ. الخزانات الأسطوانية تحتاج إلى أدنى عزل لوحدة الحجم، ولكن تأخذ مساحة أرضية أكبر وتكون غير مناسبة للتحمل. الخزانات المستطيلة، تأخذ أدنى مساحة أرضية لوحدة الحجم ولكن تتطلب إنشاء زائد. خزان التحليل من الصوف الزجاجى يستخدم كذلك. الشكل العادى لخزان الصلب هو الأسطوانى حيث نسبة الطول إلى القطر حوالى واحد.

العزل :(Insulation)

خزان العزل الحرارى يجب أن يكون معزولا جيداً لخفض الفقد فى الحرارة المخزنة. القاع، الأجناب القمة للخزان يجب أن يكونوا معزولين. أحد الطرق لعزل القاع هى وضع الخزان على طبقة من الفوم القوى، باستخدام الفوم ذو قوة التحمل العالية للضغط مثل الصوف الزجاجى (Foam glass). طريقة أخرى هى بوضع الخزان على ألواح خشبية بفواصل صغيرة والعزل بين الألواح.

توجد ثلاث طرق لاستخدام العزل وهى:

العزل الملفوف (Wrapped Insulation)

العزل السايب المفكك (Loose fill insulation)

الفوم:

أحيانا يتم لف شرائط الصوف الزجاجى حول الخزان حتى الوصول إلى السمك المطلوب. الطريقة الثانية هى صندوق الخزان وملئ الفراغ بعزل الصوف الزجاجى السايب. لا يوصى باستخدام سيليلوز أسيتيت نظراً لكونه يفقد قدرته على العزل فى حالة كونه مبللاً. مشكلة ملئ العزل السايب هى ضغط العزل عند القاع بسبب وزن العزل فوقه. وهذه ليست مشكلة عملية لعزل قمة الخزان، حيث نادراً ما يزيد ارتفاع الملئ بالعزل المفكك عن 50سم (20 بوصة).

الحجم والشكل: (Size and con figuration)

كما سبق ذكره الماسورة من مصفوفة المجمع الشمسى تـدخل خـزان التخـزين الحرارى عند الجزء العلوى للخزان، والمخرج من الخزان إلى المجمعات يوضع قرب قاع الخزان. بالمثل، الماسورة التى تؤدى إلى نظام التوزيع تخرج من الخزان قـرب القمة حيث يكون الخزان أكثر سخونة، وتعود نحو القاع. الخزانات المـزودة بتنفيـث (Vented) يجب أن يتوفر لها وسائل لإضافة مياه تعويض للنظام بسبب الفقد بـالبخر من حوض التخزين الحرارى. عادة يتم ذلك بواسطة خط مياه تعويض الداخل إلى القاع والذى يتم إحكامه بواسطة محبس عوامة فى الخزان. بعض النظم الصغيرة والـسكانية تستخدم زجاجة ملاحظة على الخزان، والتى تسمح بملاحظة مستوى المياه فى الخزان نظرياً. فى هذه الحالة، يتم التعويض بفتح المحبس يدوياً فى خط التعويض لملئ الخزان إلى المستوى المطلوب.

حجم خزان الحفظ الحرارى يتوقف على عدد من المعايير، شاملة كفاءة الجـامع، حمل التسخين وجزء التسخين الشمسى المطلوب. الحجم العادى هو 75%لتـر/المتـر المربع لمساحة المجمع. حجم التخزين الحرارى تحت النظام يكون عادة أحد المعـايير خلال مرحلة تصميم النظام، حيث أنه يلزم تحليل التكلفة بـين حجـم النظـام وأداؤه. وحدات التخزين الحرارى الكبيرة تقلل من أداء النظام إذا كان الفقـد الحـرارى مـن التخزين أصبح الجزء الرئيسى لكل الحرارة المكتسبة من مصفوفة الجامع.

تكلفة وأداء نظام التخزين الحرارى ذو الأساس بالماء يعتمد على عدد من العوامل، متضمناً التصميم ومواد الإنشاء، عدد الخزانات والتوصيل فيما بينها، ونـوع وسـمك العزل، ونوع الحامل المطلوب للخزان، والمكان (داخلى أو خارجى).

المواد: (Materials)

الصلب هو المادة المستخدمة للخزان حيث يوفر قوة التحمل والقوة خـلال مجـال كبير لدرجة الحرارة، ولكن يجب حمايته ضد التآكل من الداخل والخارج. الوصـلات بالفلنجة (الأوشاش) وبالقلاووظ من السهل عملها فى خزانات الصلب. خزانات الصوف الزجاجى ليست قوية وهى محدودة لدرجات حرارة من 80-100°م. من الصعب إضافة وصلات جديدة لخزان الصوف الزجاجى حيث من السهل إضـافة وصـلات جديـدة لخزانات الصلب. كذلك فإن خزانات الفيبرجلاس أكثر عرضة لمشاكل التـسرب عنـد نقطة التوصيل، بسبب فرق التمدد الحرارى ما بين المواسير المعدنية وخزان الصوف الزجاجى.

الميزة الرئيسية للصوف الزجاجى مقارنة بالصلب هو مقاومة التآكل المتعلقة بالصوف الزجاجى. الخزانات الخرسانية غير مكلفة ويمكن إنشاؤها فى الموقع، ولكن من الصعب عزلها وحمايتها من الماء. فى حالة عزل خزان الخرسانة من الخارج، فإن كتلة الخرسانة تصبح جزء من كتلة التخزين. ولكن الخرسانة معرضة للخاصية الشعرية التى تسمح بتسرب المياه خلال الشقوق والوصلات، والوصلات المقاومة للتسرب يكون من الصعب جداً عملها. عدم التصنيع الجيد لخزانات الخرسانة يمكن أن يحدث تشقق بسبب الدورة الحرارية لوسط التخزين، والذى يحدث كذلك فى أحواض السباحة.

2) مبادل التخزين بطبقة الحشو (طبقة الصخر للتخزين الحرارى)

Packed Bed Exchanger storage (Rock bed thermal storage)

لتخزين الحرارة الملموسة بالهواء كآلية انتقال الطاقة، فإن الصخر، الزلط، أو الحجر المفتت فى خزان الحفظ له ميزة توفير سطح انتقال حرارة كبير ورخيص. طاقته الحرارية، هى فقط حوالى نصف ذلك للماء، وحجم الخزان سيكون حوالى ثلاث أضعاف حجم خزان الماء الذى يتم تسخينه خلال نفس فترة درجة الحرارة. الماء متفوق بسبب انخفاض سعره وقلة حجمه اللازم لوحدة الطاقة المخزنة. الصخر له المميزات الآتية مقارنة بالماء.

1- من السهل احتواؤه مقارنة بالماء.

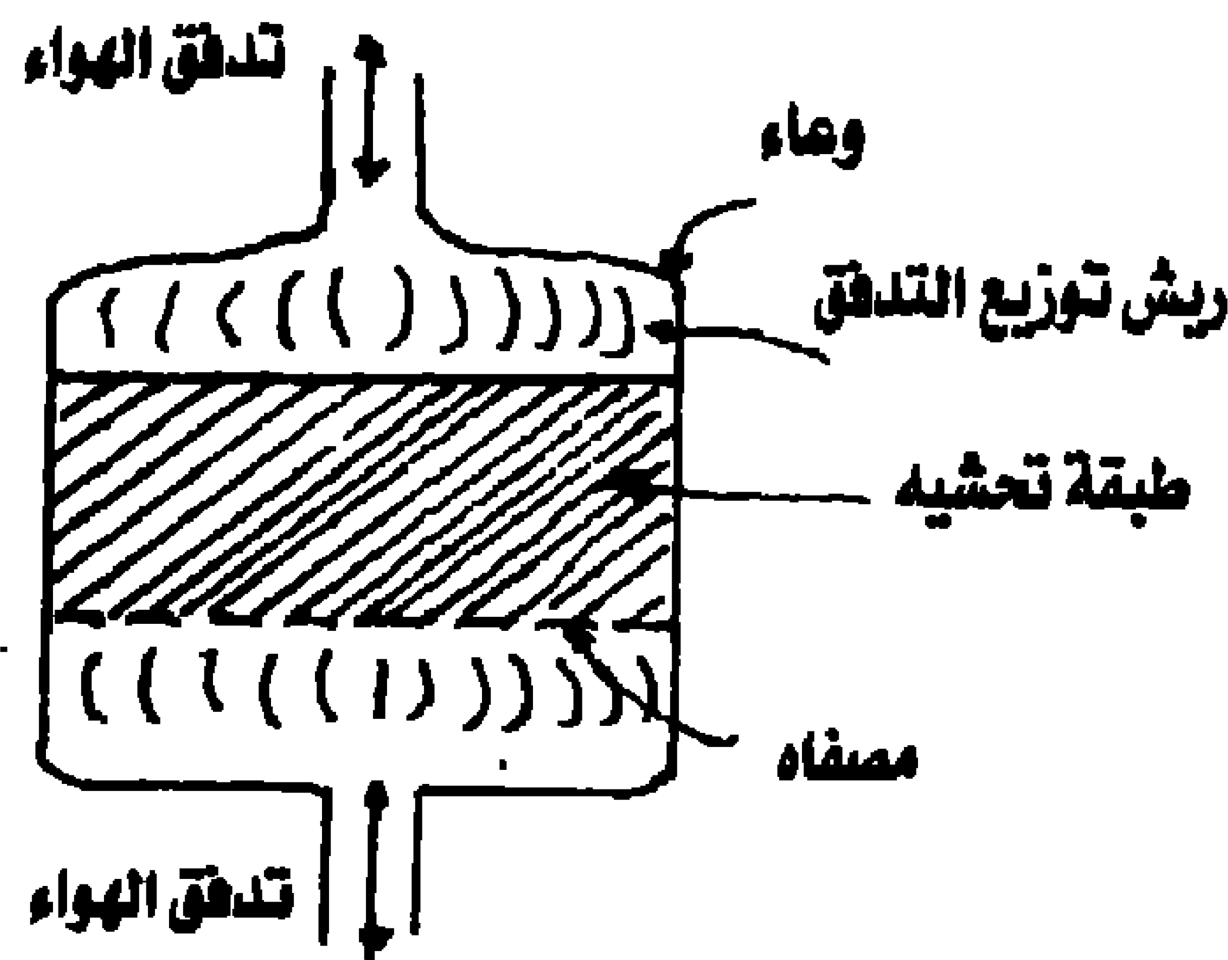
2- الصخر يعمل كمبادل حرارى ذاتى والذى يقلل من إجمالى تكلفة النظام.

3- يمكن استخدامه بسهولة لتخزين الحرارة عند درجات حرارة أعلا كثيراً من 100^oم.التخزين عند درجة حرارة عالية حيث الماء لا يمكن استخدامه فى الشكل السائل بدون خزان ماء مضغوط ومكلف. والوحدة المصممة جيداً للطبقة المدمجة من الصخر لها بعض الخواص المطلوبة لاستخدامات الطاقة الشمسية وهى:

4- معامل الانتقال الحرارى بين الهواء والصلب مرتفع.

5- تكلفة مادة التخزين منخفضة.

6- التوصيل الحرارى للطبقة منخفضة عند عدم وجود تدفق للهواء الشكل (9/3) يوضح مخطط لطبقة مدمجة فى وحدة التخزين، والتى تستخدم الطاقة الحرارية لمادة حبيبية مفككه حيث خلالها المائع الذى عادة يكون الهواء يتم تدويره لإضافة أو إزالة الحرارة من الطبقة.



شكل (3/9) مخطط لوحدة التخزين لطبقة الحشو

الظواهر الأساسية لوحدة طبقة التخزين هى الوعاء (الخزان) حامل مثقب لحمل الطبقة وموزعات الهواء. فى الاستخدام يظل التدفق خلال الطبقة فى اتجاه واحد خلال إضافة الحرارة وفى الاتجاه المعاكس خلال سحب الحرارة. لاحظ أن إضافة الحرارة والإزالة من التخزين لا يمكن عملة فى نفس الوقت فى هذا النظام. متطلبات العزل عند السطح الخارجى للطبقة يكون عند أدناه، للتخزين قصير الأجل، حيث التوصيل الحرارى للطبقة عند الاتجاه المحيطى يكون منخفضاً. وحدة التخزين بالطبقة المحشوة أو وحدة التخزين بطبقة الحصا لنظم التسخين الشمسى للهواء يمكن أن يكون أفقياً أو رأسيا. الطبقات الرأسية هى المستخدمة عادة فى أماكن حيث الارتفاع يكون محدوداً. وهذه ليست لها الميزة المتعلقة بالطبقات الحرارية التى توجد فى طبقات الحصا الرأسية.

أفضل الصخر لاستخدامه فى طبقة الحصا هو الزلط المستدير من قاع النهر، ولكن الزلط المفتت يمكن استخدامه كذلك. الزلط يجب غسيله جيداً لتحسين تدفق الهواء وخفض انسداد المرشح. إذا كانت وحدة التخزين الحرارى مستخدمة كذلك فى التبريد الفيضى صيفاً، فإن التكثيف يمكن أن يحدث، لذلك فإنه لا يتم استخدام الرخام، الحجر الجيرى والدولوميت الذى يتفاعل مع الماء وثانى أكسيد الكربون.

الفراغات الممتلئة بالمادة (سمك طبقة المادة) يجب أن يكون مساحات مقطعها لا تقل عن 8% لمساحة مقطع طبقة الصخر. الكمية هى مثالياً فى المجال 245 كجرام/المتر المربع (50 رطل/اليوم المربع) للمجمع الشمسى، ولكن يمكن أن تكون هناك حاجة لحسابات أكثر دقة لتعظيم نظام التخزين الحرارى هذا. الانخفاض فى الضغط ما بين أعلا وأسفل الحيز الممتلئ بالمادة (Plenum) يجب أن يكون كافياً لتأكيد التوزيع المتجانس لتدفق الهواء فى طبقة الصخر وكثيراً من سعت التخزين الحرارى للطبقة الصخرية يمكن استخدامه كقاعدة عامة أدنى انخفاض فى الضغط يجب أن يكون

حوالى 0.15 بوصة (4 مليمتر) للماء (37 نيوتن/المتر المربع) لضمان التدفق المنتظم، ولكن لا يزيد عن ضعف تلك القيمة، أو متطلبات قوة النافخ يمكن أن تصبح كبيرة جداً.

التدرج فى الضغط خلال الطبقة الصخرية يعرف بنسبة الانخفاض فى الضغط إلى سمك الصخر. سرعة الواجهة (Face velocity) هى المعدل الحجمى لتدفق الهواء مقسوماً على مساحة مقطع طبقة الصخر أو بمعنى آخر سرعة الهواء قبل دخوله الصخر مباشرة. معدل التدفق الحجمى للهواء يتم ضبطه عموماً بمصفوفة الجامع (Collector array). التدرج فى الضغط يزداد مع سرعة الواجهة (Face velocity). زيادة قطر الصخر يقلل التدرج فى الضغط، بسبب كبر فراغات الهواء بين الصخر لتدفق الهواء، ولكن، الصخور الأكبر (Larger rocks) تأخذ وقت أطول لتصل إلى اتزان درجة الحرارة مع الهواء المحيط. إذا كان الوقت اللازم للصخر للوصول إلى اتزان حرارى مع الهواء يكون أقل كثيراً عن الوقت اللازم لتدفق الهواء خلال طبقة الصخر، فإن الهواء المتدفق خلال الطبقة سوف يخرج عند درجة حرارة مساوية تقريباً لتلك لطبقة الصخر التى مرت بخلالها أخيراً. كقاعدة عامة سمك الطبقة الصخرية يجب أن لا يقل عن 20 ضعف قطر الصخرة إذا كان قطر الصخرة أقل من 10سم (4 بوصة) ولا يقل عن 30 ضعف لقطر الصخرة إذا كان الصخر أكبر من 10سم. الجدول التالى يبين الكثافات والسعة الحرارية للعديد من مواد التخزين الحرارى. السعة الحرارية الحجمية تقدر بالمادة النقية (بدون مسام) وفى حالة 30% مسام، والذى يمثل الحل النموذجى لنظام التسخين المبنى على الهواء.

جدول (1/9) السعة والكثافة لمواد التخزين الحرارى للحرارة المحسوسة:

المادة	الحرارة النوعية Cp جول/كجرام. °م	الكثافة كجرام/م3	السعة الحرارية الحجمية	
			بدون مسام ميجا جول/م^3 °م MJ/m^3 °C	30% مسام MJ/m^3. °C
ماء	4180	1000	4.18	-
حديد	460	7830	3.61	2.53
ألومنيوم	920	2690	2.48	1.74
خرسانة	1130	2240	1.86	1.78
صخر	879	2680	2.33	1.63
طوب	879	2240	1.97	1.38

يمكن استخدام الطرق التحليلية أو العددية لدراسة أداء مبادلات طبقة الحشو Packed bed.

طبقة الحبيبات الزلطية لتخزين الطاقة استخدمت فى المنازل الشمسية أو مع استخدام نظام جامع الهواء الساخن (Hot air collector).

2- حرارة التخزين الكامنة (Latent heat storage). أو تخزين الطاقة بتغير المجال (Phase change Energy storage)

مادة تغير المجال يمكنها تخزين الحرارة بحدوث تغير المجال من الصلب إلى المجال السائل/ الحالة (الانصهار)، أطلاق تلك الحرارة بالانعكاس ثانيا (Reversing back) الحالة الصلبة (التجمد). المثال العادى هو الماء، والذى يقوم بتخزين (وإطلاق) الحرارة بتغير المجال عند صفر درجة مئوية. عند تخزين الحرارة فى وحدة تخزين بتغير المجال، فإن الحرارة المنقولة إلى وحدة التخزين تذيب مادة تغير المجال، وعند إزالة الحرارة من التخزين، فإن المادة تعود إلى حالة التجمد.

فى استخدامات معينة يكون من المطلوب المحافظة على غير درجة الحرارة لمجال التخزين إلى أدناه. طبقاً للمعادلة $T_1 - T_2 = \Delta T = Q_s/(mCp)_s$ السابق ذكرها، هذا التغير يمكن خفضه وذلك بزيادة كتلة مجال التخزين. ولكن يمكن وجود طريقة أكثر تأثيراً لتثبيت درجة الحرارة باستخدام الحرارى الكامنة بدلاً من تخزين الحرارة المحسوسة.

عند تسخين مادة صلبة فإن درجة حرارتها تستمر فى الارتفاع حتى الوصول إلى درجة حرارة انصهارها (Tm). عند إضافة حرارة زائدة، فإن درجة حرارتها تظل ثابتة عند (Tm) ولكن تبدأ فى إحداث تغير مجال نحو الحالة السائلة. لا تحدث زيادة فى درجة الحرارة حتى اكتمال عملية الانصهار. الحرارة الممتصة لوحدة الكتلة بواسطة الوسط و (الكتلة) والمخزنة فيه خلال تحول المجال تسمى الحرارة الكامنة (Latent Heat). تخزين الحرارة الكامنة لوحدة الحجم هو:

$$Qs/Vs = Ps.\ T\ (\text{latent heat})$$

حيث:

Ps = هى متوسط الكثافة للوسط

كمثال الحرارة الكامنة للثلج = L

$$L = 3.35 \times 10^5\ J/Kg\ (335KJ/Kg \text{ or } 80\ Kcal/Kg)$$

$$= \frac{3.35x10^5}{60x60x10^3} KW - hr / Kg$$

= 0.093 KW-hr/kg

إذا أخـــذنا كثافـــة الوســـط الـــثلج – المـــاء ليكـــون ذلـــك للمـــاء تقريبـــاً أى Ps = 1000 كجرام/المتر المكعب.

فإن المعادلة السابقة Qs/Vs = 1000× 0.093 = 93 كيلوات.ساعة/م3

مقارنة ذلك بالماx فى المعادلة $\frac{Qs}{Vs} = (\frac{mcp)s\Delta T}{Vs}$

(السابق ذكرها) فإننا نلاحظ أنه يمكن تحقيق نفـس كثافـة التخـزين بـالحرارة المحسوسة (Sensible Heat)، شريطة أن يتحول الماء بـــ 80°م. تخـزين الطاقـة الكامنة يحدث مع عدم التغير فى درجة حرارة التخزين. المـشكلة المتعلقـة بتخـزين الحرارة الكامنة فى ثلج الماء هى درجة حرارة الانصهار هى أنها شديدة الانخفـاض نحو الاستفادة. الهدف عندئذ هو وجود مادة صلبة حيث درجة حرارة انصهارها تكون دون تلك التى يمكن للمصفوفة الشمسية إمدادها وبالتالى أعلا من المستوى المطلوب فى استخدامات التسخين.

معظم المواد التى تكون صلبة عند درجة حرارة انـصهار عاليـة الارتفـاع بخصوص الاستفادة فى استخدامات التخزين الشمسى. ولكن، يوجد بعـض الأمـلاح المائية ذات درجات حرارة انتقال منخفضة بما يكفى لتخزين الطاقة الشمسية. (أنظـر الجدول التالى):

جدول (2/9) خواص مواد تغير الوسط المختارة

مادة تغير الوسط (المجال)	درجة حرارة الانصهار °م	حرارة الانصهار ك جول/كجرام	كثافة الصلب كجرام/م3	الحرارة النوعية Cpd كيلو جول/كجرام°م	
				صلب	سائل
كلوريد الكالسيوم سداسى التميؤ	29.4	170	1630	1340	2310
دايصوديوم فوسفيت ذو 12 جزئى مائى	36	280	1520	1690	1940

N- Ei cosane	36.7	247	856	2210	2010
شمع البارافين Sunoco-116	47	209.2	785	2890	-
البولى إيثيلين جليكول – 600	25 - 20	146	1300	2260	-
كربونات الصوديوم ذات 12 جزئى مائى	33	251	1440		
صوديوم ثيوسلفيت بنتاهيدريت	49	200	1690	1450	2389
Hitec ($NaNO_3$ + $NaNO_2$ + KNO_3)	143	80.7			

فى الواقع خليط معين من الأملاح ينصهر عند درجات حرارة منخفضة مقارنة بذلك الذى يحدث للمكونات المنفردة. مثل هذا النظام يسمى الخاليط الأصهوريه ذات نقطة الانصهار الدنيا (Eutectic Mixlures). نقطة الانصهار لمثل هذا الخليط يمكن خفضها إلى أدنى قيمة بالاختبار المناسب لنسب الخلط.

المواد التى يحدث لها تغير فى الوسط فى مجال مناسب لدرجة الحرارة يمكن أن تكون مفيدة فى تخزين الطاقة إذا تحققت البيانات التالية:

1- تغير الوسط يجب أن يتم بتأثير عالى للحرارة الكامنة.
2- تغير الوسط يجب أن يكون معكوساً (Reversible) خلال عدد كبير من الدورات بدون تحلل شديد.
3- تغير الوسط يجب أن يحدث بتبريد شديد محدود (Super colling).
4- يجب توفير السائل لاحتواء المادة وانتقال الحرارة منها وإليها.
5- تكلفة المادة والأوعية يجب أن تكون مناسبة.
6- تغير مجال الوسط يجب أن يحدث قريباً من درجة حرارة انصهاره الحقيقية.
7- تغير الوسط يجب أن يكون له تأثير حرارة كامنة، أى أنه يجب أن يقوم بتخزين كميات كبيرة من الطاقة.
8- يجب توفر المادة بكميات كبيرة.

9- تحضير مادة تغير الوسط للاستخدام يجب أن يكون بسيطاً نسبياً.

10- المادة يجب أن تكون غير ضارة (غير سامة، غير قابلة للاشتعال، غير قابلة للاحتراق، غير عدوانية).

فى حالة تحقيق تلك المتطلبات، فإن نظم تخزين الطاقة بتغير الوسط (المجال) يمكن أن يكون له قدرات عالية (بالنسبة لتخزين الطاقة فى شكل نظم الحرارة المحسوسة) عند العمل خلال مجالات درجة حرارة صغيرة، مع الخفض الكبير فى الحجم والوزن.

توجد بعض المميزات البارزة إلى حد ما نحو تخزين الطاقة الحرارية فى شكل حرارة كامنة مقارنة بالحرارة المحسوسة. التخزين يحدث خلال مجال درجة حرارة ضيق والطاقة لوحدة الحجم تكون ضخمة جداً. (وهذا موضح فى المثال السابق) ولكن توجد بعض المشاكل التقنية. التلف الكيماوى لوسط التخزين والسطح الملتصق به يمكن أن يكون مشكلة بالإضافة إلى، الانتقال الحرارى إلى الوسط الصلب ليس دائماً عملية ذات كفاءة، خاصة إذا كان الوسط ذو توصيل حرارى ضعيف. وسط التخزين يجب كذلك أن ينصهر عند درجة حرارة متوافقة مع استخدام معين للتسخين الشمسى.

فى أى نظام تخزين المائع التوصيل الأولى يجب أن يدخل الخزان عند درجة حرارة أعلا عن تلك للخزان، وإلا فإن المائع سوف يستخلص الحرارة ولا يضيف حرارة. يمكن استخدام جهاز لإحكام التدفق لتنظيم تدفق مائع الانتقال. عند هبوط درجة حرارة المائع أدنى من تلك لوسط التخزين، فإن التدفق يمكن أن يتم خلال ممر جانبى بعيداً عن الخزان أو إيقافه كلية.

مادة الوسط المتغير لتخزين الطاقة :

Material for phase change Energy storage

يوجد العديد من المواد التى يحدث لها تغير فى الوسط. الأملاح المائية، ملح جلوبر $(Na_2SO_4 - 10H_2O)$، الماء، $Fe(NO_3)_2\text{-}6H_2O$ ملح أصهورى عند درجة حرارة منخفضة (Salt sutectic)، تلك هى المواد المستخدمة غالباً.

يوجد العديد من مواد التخزين الحرارى المتاحة، وهى الشمع (Wax)، كلوريد الكالسيوم سداسى التميؤ $(CaCl_3 . 6H_2O)$، كبريتات الصوديوم المائية $(Na_2S_2O_4. 10H_2O)$ صوديوم ثيوسلفيت نبتا هيدريت $(Na_2S_2O_4. 5H_2O)$.

عند انصهار ملح متميئ، فإن بعض أو كل جزئيات الماء تنفصل من جزئيات الملح. إذا كان الملح قابل للإذابة الكاملة فى المياه المتحررة المنتجة، الإذابة (Freeze/thaw) تكون تامة الانعكاس (Reversible). أى مادة التى تغير المكون

الكيماوى عند إذابتها أو انصهارها فإنها تذوب أو تنصهر توافقياً. إذا كان الملح المائى قد انصهر والملح ليس تام الإذابة فى مياه التميؤ، فإن بعض من الملح الغير مذاب قد يرسب نحو القاع حيث فى هذه الحالة تكون الإذابة غير توافقية (In congruent). الأملاح المائية والأقل تكلفة مثل تلك المبينة فى الجدول السابق لا تذوب توافقياً والمواد الأخرى فى الجدول هى كذلك. تم عمل الجهود لحل مشكلة الإذابة الغير توافقية بتخزين الخليط عند انصهاره، وذلك بخلق جيل من الملح المائى (Salt Hydrate Jel) الذى يمنع ترسيب الملح، وبواسطة تغليف الملح.

احتمال التبريد الزائد يجب كذلك أن يؤخذ فى الاعتبار فى تصميم وحدات التخزين الحرارى بتغير الوسط. بدون توفير مراكز للنويات (Nucleation centres) لتنشيط تكون البللورات، فإن وسط المجال المائى قد يظل سائل مع تبريده إلى أقل من درجة حرارة تجمده. مراكز النويات يمكن توفيرها بإضافة عامل النويات (Nucleating agent) إلى مادة تغير الوسط خلال العزل لضمان أن بعض المادة الصلبة يظل دائماً ملتصقاً مع السائل النشيط التجمد مع تبريد السائل.

مشكلة أساسية لتنظيم تغير الوسط هو التجمد على سطح المبادل الحرارى وذلك عند إزالة الحرارة، الواضح، أن السائل الأكثر برودة سيكون ملاصقاً لسطح المبادل الحرارى. التوصيل الحرارى المؤثر للصلب يكون أقل عن ذلك للسائل، والانتقال الحرارى يتم إعاقته. لهذا السبب، فإن مادة تغير الوسط تكون عادة معبأة فى أسطوانات رقيقة (أسطوانات، ألواح) ذات مساحة انتقال حرارى ضخمة. مادة التغليف يجب اختيارها لتكون متوافقة مع مادة تغير الوسط.

1- ملح جلوبر ($Na_2SO_4 . 10H_2O$)

تغيرات المجال من الصلب إلى السائل يتطلب طاقة أقل عن ذلك من السائل إلى الغاز، ولكن تغيرات بعض الصلب إلى السائل لا زال يوفر كميات مفيدة من إمكانيات التخزين. مواد تغير المجال التى تشمل مياه التميؤ تم تجربتها طويلاً فى مجال الطاقة الشمسية. أحد هذه هو ملح جلوبر، الذى يتحلل عند حوالى 32^oم لإعطاء محلول زائد (Na_2SO_4)، مع حرارة انصهار مقدارها 243كيلو جول/ كجرام (56كيلو كالورى/ كيلو جرام) وتم اقتراحه أساساً فى تخزين الحرارة المنزلية. والتفاعل هو كالآتى:



$Na_2SO_4 . 10H_2O$ + طاقة ⇔ $Na_2SO_4 + 10H_2O$

تخزين الطاقة يتم بالتفاعل من اليسار إلى اليمين بإضافة حرارة. استخلاص الطاقة من التخزين هى ذات طريقة عكسية. لقد وجد أن الأداء يتآكل عند تكرار التدوير، مع انخفاض السعة الحرارية للنظام. ملح جلوبر له نقطة انصهار غير توافقية، حيث

ينفصل إلى السائل (المحلول) والصلب Na_2SO_4 نظراً لأن كثافة الملح أعلا من كثافة المحلول، فإنه يحدث انفصال فى المجال. تمت محاولات لاستخدام الجيل أو عوالم أخرى لتجنب فصل المجال.

2- الماء :

أكبر كمية هى لتغير المجال من الماء إلى البخار، تخزين 548كيلو كالورى لكل كيلو جرام أو أقل طبقا لدرجة الحرارة التى عندها يحدث تغير للمجال. ولكن البخار وسط صعب احتواؤه و تمت محاولات لتخزين البخار فى أوعية ضغط ضخمة وثبت أنها غير عملية وخطرة – عموماً يفضل العمل بتغير المجال من الصلب إلى السائل وليس من السائل إلى الغاز.التحول من الثلج إلى الماء هو مثال ممتاز والذى استخدم لتخزين الطاقة لقرون.

3- $Fe\ (NO_3)_2.5H_2O$: هذا المركب له نقطة انصهار متطابقة ويذوب بنفس الطريقة مثل المركب النقى.

4- المركبات العضوية :

المواد العضوية تعمل كمواد لتخزين الحرارة بسبب الصفات لمطلوبة التى تمتلكها مقارنة بالمركبات الغير عضوية. بعض من تلك المميزات تتضمن قدرتها على الإذابة التوافقية، خواص تكوين النوبات الذاتية، قدرتها على التجمد بدورة التبريد القائمة (Super colling) وقدرة تناغمها مع مواد الإنشاء التقليدية.

كلاً من البارافين والأحماض الدهنية هما من المواد العضوية المؤهلين كمواد حرارة الانصهار (Heat dffusion).البارافين (Parraffins) كما نفهمهم هى مواد ذات قوام شمعى عند درجة حرارة الغرفة.

البارافينات من الناحية الكيميائية، خليط معقد من العديد من المواد العضوية. فهى تمتلك حرارة انصهار عالية ومتاحة فى مجالات درجة حرارة كبيرة. وهىمعروفة أنها تتجمد بدون التبريد الفائق. الأحماض الدهنية تتصف بـ $(CH_3\ (CH_2)_{2n}\ COOH)$ بدرجة حرارة انصهار بقيم تقارن تلك للبارافين. بعض الأحماض الدهنية ذات العلاقة بتخزين الحرارة الكامنة عند درجة حرارة منخفضة موضحة فى الجدول التالى.

الأحماض الدهنية معروف أنها تمتلك سلوك انصهار وتجمد يمكن استعادته وتتجمد بالقليل أو بدون تبريد فائق. لذلك فإنها مؤهلة كمواد تخزين طاقة حرارية جيدة لتغير المجال مع السلبية الرئيسية للتكلفة العالية (حوالى 2 - 2.5 ضعف ذلك للبارافين).

جدول (3/9)الخواص الطبيعية للأحماض الدهنية

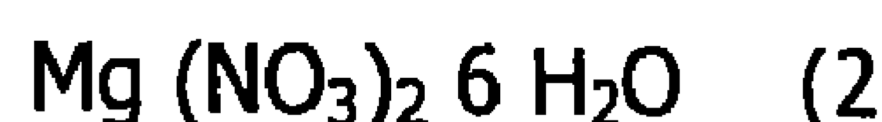
المادة	درجة حرارة الانصهار م°	حرارة الانصهار كيلوجول/كجرام	الكثافة جرام/سم3	الحرارة النوعية كيلوجول/كجرام	التوصيل الحرارى W/mK
Caprillic Acid	16.3	149	1.033 (10 °م)	-	0.148 (20 °م)
Capric Acid	31.5	136	0.886 (40 °م)	-	0.149 (40 °م)
Lauric Acid	42.44	178	0.870 (50 °م)	1.6	0.147 (50 °م)
Myristic Acid	54	187	0.884 (80°م)	1.6	-
Palmitic Acid	63	187	0.847 (80 °م)	-	0.165 (70 °م)
Stearic Acid	70	203	-	-	0.172 (70 °م)

طبقة التخزين من الصخر أو الحصا تستخدم عادة لدرجات حرارة حتى 100^{5}م بالاتصال مع سخانات الهواء الشمسية. هذا النوع من التخزين يمكن استخدامه كذلك لدرجات حرارة أعلا حتى 100°م. المواد الحرارية مثل (MgO, Al_2O_3, SiO_2) مناسبة كذلك لتخزين الحرارة المحسوسة عند درجات الحرارة العالية.

5) الملح الأصهورى (Salt eutectics)

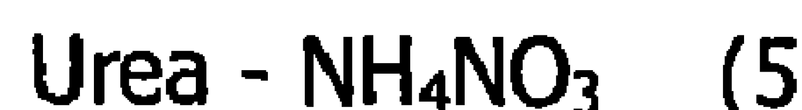
الملح الأصهورى يوفر إمكانية خفض التبخر فى درجة الحرارة إلى أقل من نقطة الانصهار العادية لأى من المركبات المكونة للخليط المصطلح أصهور(Eutectic) يستخدم لوصف الخليط من الكيماويات الذى له سلوك درجة حرارة مطلوب، تحديداً، هذا المصطلح يشير إلى الخليط حيث نقطة الانصهار هى الأدنى. بعض من المركبات الاصهورية ذات أقل نقطة انصهار تكون مفيدة كوسط انتقال حرارى.الأصهوريات الممكنة هى:


1) $CaCl_2 . MgCl_2 . H_2O$


2) $Mg(NO_3)_2\ 6\ H_2O$


3) $Al(NO_3)L.9H_2O$


4) Acetamide - stearic Acid


5) Urea - NH_4NO_3

الجدول (4/9) الآتى يوفر معلومات حول أنواع الخليط الأصخورى ذات الأهمية فى تخزين الطاقة الحرارية.

مكونات الخليط الاصهورى	نقطة الانصهار °م	الحرارة الكامنة	
		L كيلو كالورى/كجم	L كيلو جول/كجرام
$CaCl_2.MgCl_2.H_2O$ 41 : 10 : 49	25	41.7	175
$Mg(NO_3)_2 6H_2O.Al(NO_3)_L.9H_2O$ 53 : 47	61	35.4	148
Acetamide - stearic Acid 17:83	65	52	218
Urea - $NH_3\ NO_3$ 45.3 : 54.7	46	41	172

الانتقال الحرارى إلى ومن مادة تغير المجال يجب إعطاءها عناية خاصة. المادة يجب احتوائها بحيث أن الحرارة يمكن انتقالها إلى ومن المادة بأدنى انخفاض فى درجة الحرارة. تم عمل ذلك تجريبياً بوضع المادة فى أوعية صغيرة (صفائح أسطوانية، أنابيب أو صوانى) مع وضع الأوعية فى صناديق أو قنوت (Bins or Ducts). مائع الانتقال الحرارى عادة (الهواء) يتم تدويره فوق الوعاء حيث يوجد فى طبقة مرصوصة. مشكلة الانتقال الحرارى الخارجية إلى الأوعية تشبه الطبقة المرصوصة المغلقة (Packed Bed). داخلياً، يجب مراعاة ظاهرتين إضافيتين. أولاً،يجب معرفة أن الحرارة الكامنة (Latent heat) التى تضاف بشدة حرارة نوعية عالية خلال مجال درجة حرارة صغيرة جداً، وثانياً، المقاومة الحرارية لانتقال الحرارة خلال المادة يكون متغيراً طبقاً لدرجة التصلب سواء كان بتسخين أو تبريد المادة، وعند نهاية التبلد، فإن الحرارة يجب أن تنتقل خلال طبقات الصلب إلى حوائط الوعاء. مع تسخين مادة التصلد (Solidification)، تحدث الانصهار أولا عند الحوائط ثم إلى الداخل نحو مركز

الوعاء. عوامل عملية أخرى يجب مراعاتها بالنسبة لتغير مجال التخزين والتآكل والتفاعل الجانبى، ضغط البخار، السمية والتكلفة.

تخزين الحرارة الكامنة بدرجات الحرارة العالية:

High temperature latent heat storage:

لقد ناقشنا مادة تغير المجال (Phase change) المستخدمة فى التخزين عند درجة الحرارة المنخفضة، مثل المركبات العضوية، المركبات والأملاح الغير عضوية. الجدول الآتى بيان بمواد التخزين الحرارى لمجال درجة حرارة من 200^oم إلى 450^oم.

جدول (5/9)

المادة	نقطة الانصهار °م	الكثافة جرام/سم3	الحرارة الكامنة كيلو جول/كجرام
$Zn\ Cl_2$	283	2.91	168.8
Na (OH)	319	2.15	159.0
B_2O_3	460	1.84	330.4
KOH, $ZnCl_2$ (64:36)	190	2.06	230
KCl-$MgCl_2$ - NaCl 20-50-30	396	2.25	412
$MgCl_2$ - NaCl (38-62)	435	2.16	328
KCl - $ZnCl_2$	235	2.48	198

نظم حرارة الانصهار (Fusion) باستخدام خلطات الملح الغير عضوى لها ميزة بارزة لتخزين الطاقة عند درجات الحرارة العالية نظراً لأنه يمكنها خفض أحجام التخزين وإنتاج طاقة أكبر عند درجات الحرارة الثابتة.

تم تطوير نظام فى عام 1982 (فى مركز علوم الفضاء فى كالوريدا)، لتوفير التخزين للطاقة الحرارية بتكلفة منخفضة باستخدام الأملاح المنصهرة. فى هذا النظام تم استخدام ملح النترات المنصهر (40% KNO_3 , 60% $NaNO_3$) بالوزن واقترح خزان مزدوج حيث أحدهما لتخزين الملح الساخن عند 566^oم والثانى لتخزين "البارد" عند 560^oم. الملح الساخن يتم تسخينه إلى 566^oم فى مستقبل شمسى (Receiver) وضخه إلى حوض التخزين الساخن. هذه الطاقة يتم استخدامها لإنتاج البخار عند 538^oم، والذى يمكن استخدامه لتشغيل تربين أو استخدامه كمصدر حرارى لعملية صناعية.

الملح يوجد فى المبادل الحرارى عند درجة حرارة 289^{o}م والتى تكون أعلا من نقطة تجمد الملح بدرجة كافية لمنع حدوث أى تصلد. الملح البارد يعود إلى الخزان البارد حيث يتم تخزينه للتدوير. النتائج التجريبية الأولية أظهرت أن الخزانات ذات العزل الخارجى تكون عملية لهذا النوع من تخزين الطاقة وكل الفكرة العامة نفسها تكون مناسبة لنظام المستقبل المركزى للحرارة الشمسية.

مثال :

أحسب الحرارة المحسوسة المخزنة لوحدة الحجم لأوساط التخزين الحرارى الآتية، عندما تكون درجة حرارتهم تزيد بـ 10^{o}م.

أ- للماء (Ps = 1000 كجرام/م3، Cp = 4186 جول/كجرام.^{o}م)

ب- للكحول المسيثيلى (Ps = 810 كجرام/م3، Cp = 2512 جول/كجرام.^{o}م)

الحل:

باستخدام المعادلة $\frac{Qs}{Vs} = Ps\ Cps\ \Delta T$

أ- للماء

$$\frac{Qs}{Vs} = 1000 \times 4186 \times 10 = 4.186 \times 10^{7}\ J/m^{3}$$

$$= \frac{4.186x10^{7}}{3.6x10^{3}x16^{3}} Kw-hr/m^{2}$$

$$= 11.6\ Kw.\ Hr/m^{2}$$

ب- للكحول الميثيلى : (Methyl alcohol)

$$\frac{Qs}{Vs} = 810.2512.10$$

$$= 2.03 \times 107\ J/m^{3}$$

$$= \frac{2.03x10^{7}}{3.6x10^{3}x10^{3}} Kw-hr/m^{3}$$

$$= 5.6Kw - hr/m^{3}$$

مثال :

أوجد الطاقة المخزنة لوحدة الحجم، وكتلة طبقة الحصا لتخزين الحرارة لنظام التسخين الشمسى بنوع الهواء، عندما تكون درجة حرارته لترتفع 20^{o}م. الطبقة مطلوب

لها تخزين 25كيلو وات.ساعة (25KW.hr). متوسط الكثافة والحرارة النوعية للطبقة هو 3000 كجرام/م3، 800 جول/كجرام.°م على التوالى.

الحل:

باستخدام المعادلة $\frac{Qs}{Vs} = Ps\ Cps\ \Delta T$

$= 3000 - 80.20$

$= 4.8 \times 10^7 J/m^3$

$= \frac{4.8x10^7}{3.6x10^3 x10^3} Kw - hr / m^3$

$= 13.3\ KW - hr/m^3$

حجم التخزين المطلوب هو

$Vs = \frac{25}{13.3} = \frac{Kw - hr}{Kw - hr / m^3}$

$= 1.88 m^3$

الكتلة هى $M = PsVs$

$= 3000 \times 1.88 = 5639\ Kg$

مثال:

منزل شمسى صغير معزول جيداً يحتاج متوسط إمداد حرارة داخلية مقدار واحد كيلوات ساعة (1KWh). جنباً إلى جنب مع زيادة حرارة الإضاءة..الخ، هذا سوف يعمل على استمرار درجة الحرارة الداخلية 20°م. تقرر بناء تخزين للماء الساخن فى حوض مستطيل حيث قمته تكون أرضية المنزل، بمساحة 200متر مربع. التسخين يجب أن يكون مناسباً لمدة 100 يوم وكذلك كل الفقد الحرارى من الخزان يمر بالتوصيل الحرارى خلال الأرضى، ومع تبريد الماء من درجة الحرارة الأولية 60°م إلى النهائية 40°م، أحسب

1- حجم وعمق الخزان.
2- كثافة الطاقة للتخزين.

أفترض كثافة الماء = 1000 كجرام/متر مكعب

Cp = 4200 جول/كجرام. °م

الحل:

1- الحرارة المطلوبة للمنزل الشمسى Qs = 1KW

= 1KW x 100 days x 24 h/day x 3.6 Mj KW/hr

= 8640 MJ

لدينا المعادلة الآتية :

$$\frac{Qs}{Vs} = Ps\ Cps\ \Delta T$$

حجم الماء

$$Vs = \frac{Qs}{pscps\Delta T}$$

[ΔT = 60 - 40 = 20oC]

$$= \frac{8640}{1000x4200x20}$$

= 103 m3

عمق الخزان = الحجم /المساحة

$$= \frac{103}{200} = 0.5m$$

2- كثافة الطاقة للتخزين. كثافة الطاقة للتخزين المستخدم أعلا من 40^oم

$$\frac{Qs}{Vs} = \frac{8640}{103} = 84MJ/m^3$$

مثال:

أحسب تخزين الحرارة لوحدة الحجم لكبريتات الصوديوم المائيـــة (ملـــح جلـــوبر $Na_2SO_4.\ 10H_2O$)، عندما تكون درجة حرارته ارتفعت من 27 إلى 37^oم. ملح جلوبر له الصفات الآتية:

نقطة الانصهار 32^oم

الحرارة النوعية (صلب) 1926 جول/ كجرام. ^{o}م

الحرارة النوعية (سائل) 2846 جول/كجرام. ^{o}م

الحرارة الكامنة 2.4 x 10^o جول/كجرام

الكثافة 1600 كجرام/م^3

أحسب كذلك الحجم المطلوب لتخزين 25 كيلوات-ساعة من الطاقة وعين نسبة الطاقة المخزنة بالحرارة الكامنة (Latent heat).

الحل :

الحرارة المحسوسة يتم تخزينها عند ارتفاع درجة حرارة الصلب من 27 إلى 37°م وعند تسخين السائل من 32 إلى 37°م. إجمالى الحرارة المحسوسة المخزنة لوحدة الحجم هى:

$$\frac{Qs}{Vs} = PsCps\,(T_{sat} - T_1) + P_s\,CpL\,(T_{sat} - T_2)$$

حيث:

Cps = الحرارة النوعية للصلب

CpL = الحرارة النوعية للسائل

T1 = درجة الحرارة الأولية

T2 = درجة الحرارة النهائية حتى يتم تسخين السائل

$$\frac{Qs}{Vs} = 1600.\ 1926\ (32-27) + 1600.\ 2846.\ (37-32)$$

$= 3.8 \times 10^7 J/m^3$

$$= \frac{3.8x10^7}{3.6x10^3\,x10^3} = 10.6Kw - hr/m^2$$

$= 10.6\ KW - hr/m^2$

تخزين الحرارة الكامنة =

$$\frac{Qs}{Vs} = Ps.L = 1600 \times 24 \times 105$$

$= 3.84 \times 108\ J/m3$

$$= \frac{3.8x10^8}{3.6x10^3\,x10^3}$$

$= 107\ KW\text{-}hr/m2$

إجمالى التخزين يكون

$(107 + 10.6) = 117.6\ KW\text{-}hr/m^3$

الجدم المطلوب لتخزين 25 كيلوات ساعة طاقة يكون

$$V_s = 25/117.6 = 0.21\ m^3$$

نسبة تخزين الطاقة بالحرارة الكامنة

$$= \frac{107}{117.6} \times 100 = 90.9\ \%$$

التخزين الكهربى : (Electrical storage)

نظرياً المكثفات السعوية (Capacitors) يمكنها تخزين كميات كبيرة مـــن الطاقـــة الكهربيةً لفترات زمنية طويلة. إجمالى الطاقة المخزنة هى :

$$H_{Cap} = \frac{1}{2} V \varepsilon E^2$$

حيث :

V = حجم العازل (Dielectric)

ε = ثابت

E = قوة المجال الكهربى

قوة المجال الكهربى تكون محدودة بقوة العطل (Break down) E_{br} للعازل. لذلك، فإن الطاقة الكهربية التى يمكن تخزينها فى العازل تكون محدودة. حاليا أفـــضل مـــادة عزل حالياً هى الميكا (Mica). عملياً، بسبب أن قدرة التوصيل للعـــازل لـــن تكـــون معدومة، فإنه سيكون هناك دائماً فقد بالتسرب. حالياً السعة التخزينيـــة (Capacitive storage) تكون اقتصادية فى أوقات لا تزيد عن 12 ساعة. لزيادة هذا الوقـــت يلـــزم إجراء الأبحاث. لذلك فى حالة عدم وجود مواد عزل رخيصة وأحسن لتخزين الطاقـــة الكهربية فى التخزين السعوى (التكاثفى) على مستوى كبير سيظل غيـــر اقتـــصادى. حيثما المكثفات السعوية (Capacitors) تخزن طاقة كهربية عند فرق جهد عالى وتيار منخفض، فإن التخزين المحارض الحثى (Inductor storage) يكون عند فرق جهـــد منخفض وتيار عالى. الطاقة المخزنة فى المحارض الحثى (Inductor) هى:

$$H_{ind} = \frac{1}{2} V \mu\ H_m^2$$

حيث:

μ = نفاذية المادة

Hm = كثافة المجال المغناطيسى

لتكون (H_{Ind}) كبيرة فإن كلاً من Hm , μ يجب أن يكونا كبيران. بالتالى تكون المجالات المغناطيسية العالية مطلوبة. هذا سوف يخلق قوى ميكانيكية كبيرة. والتى يتم تحملها بواسطة منشآت قوية. العملية العكسية لتصريف الطاقة المخزنة تخلق مشكلة ثانية، حيث أنها تشمل فتح الدوائر الحاملة لتيارات ضخمة.

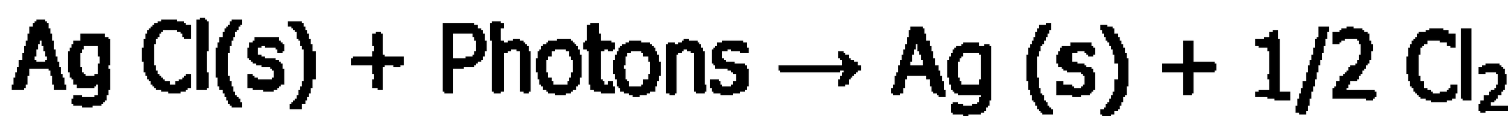
يمكن تخزين الطاقة الكهربية فى الشكل الكيميائى فى الخلية الأولية (بطارية سائلة) هذا هو أبسط تجهيز للتخزين. ليس له أجزاء متحركة، كفاءته عالية، وخرجه يكون فى شكل كهرباء. وهو يشمل قطبين (آنود وكاثود) واليكتروليت (Electrolyte)، والذى هو موصل أيونى.

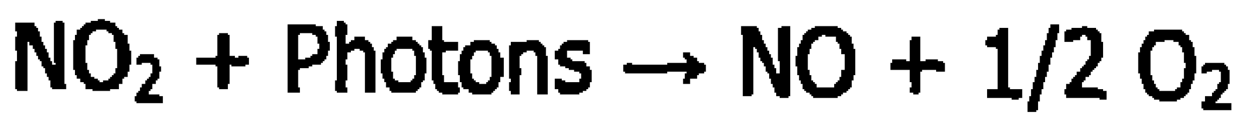
الطاقة المخزنة بخلايا الوقود هذه، تكون منخفضة جداً بالنسبة لحجم معين وتكاليف التخزين عالية الارتفاع. تلك الأنواع من الخلايا هى الزئبق، الفضة ، الزنك، خلية الهواء (Air cell). خلية المغنسيوم الجافة (Lalande)، الزئبق - الكربون، الرصاص الحامض (Lead Acid)، النيكل - الحديد وأخيراً بطاريات النيكل الكادميوم.

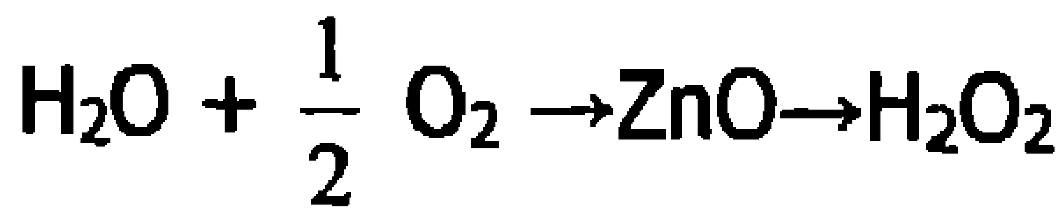
التخزين فى شكل وقود (التخزين الكيميائى):

من الممكن تجهيز بطارية تخزين التى فيها يتم إعادة توليد مواد التفاعل بالتفاعل الكيميائى الضوئى (Photochemical) الذى يتم بالإشعاع الشمسى. فى هذه الحالة يعمل المحلول نفسه كبطارية تخزين. البطارية يتم شحنها بالطريقة الكهربية لضوئية وصرفها كهربياً عند الحاجة. بعض التفاعلات التى يمكن ذات فائدة لتخزين الطاقة الشمسية هى:


$2NOCl + Photons$ (كم ضوئى) $\rightarrow 2NO + CL_2$


$Ag\,Cl(s) + Photons \rightarrow Ag\,(s) + 1/2\,Cl_2$


$NO_2 + Photons \rightarrow NO + 1/2\,O_2$


$$H_2O + \frac{1}{2}\,O_2 \rightarrow ZnO \rightarrow H_2O_2$$

كل من تلك التفاعلات له بعض السلبيات التى يلزم التغلب عليها قبل استخدامها لتخزين الطاقة.

1- معدل التفاعل العكسى يتم إبطاؤه عندما يكون أحد المنتجات راسب.
2- تفاعلات جانبية يجب أن تكون موجودة.
3- التفاعل العكسى يمكن أن يكون سريعاً جداً.
4- المركب يمكن أن يكون غير مذاب.
5- الطاقة يمكن أن تكون صغيرة.

6- الضوء يمكن أن يكون ذو طول موجة صغير جداً من الممكن كذلك تحليل المياه كهربياً بالطاقة المولدة من الطاقة الشمسية، تخزين الأكسجين والهيدروجين ثم إعادة الجمع فى خلية وقود لإعادة اكتساب الطاقة الكهربية الهيدروجين هو واحد من أهم أنواع الوقود كفاءة.

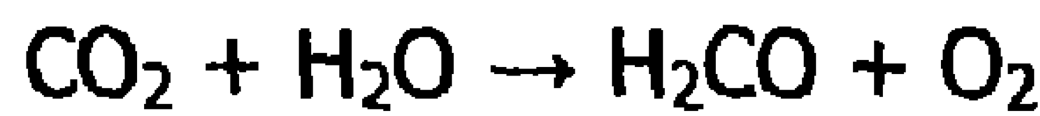
يمكن استخدام الطاقة الشمسية بالتخمر اللاهوائى للطحالب لإنتاج غاز الميثان (CH_4). الميثان وقود ممتاز، الذى يكون مستقراً عند درجة حرارة الغرفة والذى يتفاعل مع الأكسجين لتوفير درجات حرارة عالية، حيث تنطلق الطاقة المخزنة فى شكل حرارى.



$$CH_4 + 2O_2 \text{----} 2H_2O + CO_2$$

الطاقة الحرارية تم تحويلها إلى طاقة كيميائية للميثان بكفاءة 2%، لذلك، فإن كيلومتر مربع واحد من حقول الطحالب يمكنه إنتاج كمية من الميثان تخزن 4 ميجاوات (4Mw) من الطاقة الشمسية المخزنة. الطحالب يمكن أن تنمو فى الصرف الصحى المنزلى المحمل بغذاء الطحالب لإنتاج الميثان. الطحالب التى تم نموها يتم أولاً حصدها ثم معالجتها لإنتاج حوالى 5% من الصلب، الباقى يكون ماء. المادة الصلبة يتم عندئذ تعريضها للتخمر اللاهوائى وبعد ثلاث أسابيع، فإن نصف المادة العضوية يمكن تحويلها إلى الميثان.

تم ذكر التحلل الضوئى (Photosynthesis) كطريقة لتحويل الطاقة الشمسية. نواتج التفاعل هى الأكسجين، (H_2CO) والذى هو جزء من الكربوهيدريت، فى وجود الضوء والكلوروفيل.



$$CO_2 + H_2O \rightarrow H_2CO + O_2$$

الكربوهيدريت مادة مستقرة عند درجة حرارة الغرفة، ولكن عند درجة حرارة مرتفعة يكون التفاعل معكوساً، مطلقا الطاقة المخزنة فى شكل حرارى.

التخزين الكيميائى الحرارى للطاقة : Thermochemical Energy Storage

نظم التخزين الكيميائى الحرارى مناسبة للتطبيقات ذات درجة الحرارة المتوسطة والعالية فقط. لتخزين حرارة درجة حرارتها عالية تظهر بعض التفاعلات الكيميائية العكسية لتكون جذابة جداً. فوائد التخزين الكيميائى الحرارى تشمل تخزين كثافة طاقة عالية عند درجات الحرارة العادية لمدة زمنية طويلة بدون فقد حرارى وجهد ضخ الحرارة ونقل الطاقة خلال مسافات طويلة. هذا النوع من التخزين موضح بالتفاعل الافتراضى



$$A + B \Leftrightarrow AB$$

التفاعل على نحو اليمين يحدث مع امتصاص الحرارة من الطاقة الشمسية والحرارة يتم تخزينها فى شكل منتجات عندما تكون الحرارة مطلوبة، المنتجات يتم إعادة خلطها للسماح بحدوث التفاعل العكسى مع إطلاق الحرارة. إحدى المواد الأصلية الداخلية فى التفاعل (Original Reactant) يتم إعادة توليدها مكملة الدورة. كل من التفاعلات الأمامية والعكسية يحدث عند درجة حرارة ثابتة ولكن مختلفة، التفاعل الأمامى (ناحية اليسار) يحدث عند درجة حرارة عالية مقارنة بالتفاعل العكسى.

المعيار الأساسى للفائدة التى يجب إتباعها فى اختيار التفاعلات الكيميائية الحرارية هى كالآتى:

أ- التفاعل يجب أن يتم تقريباً خلال مجال درجة الحرارة للمجمعات (Collectors) المتاحة.

ب- التفاعل العكسى يجب أن يكون تاماً تقريباً عند درجة الحرارة التى عندها يتم استخلاص الطاقة المفيدة.

جـ- التفاعل يجب أن يكون قادراً على إطلاق الطاقة للاستخدام عند درجات الحرارة القريبة لتلك التى يتم إمدادها بواسطة الجامع.

د- الطاقة الممتصة لوحدة الحجم للمنتجات المخزنة يجب أن تكون كبيرة ما أمكن لخفض حجم التخزين، والمنتج يجب أن يكون فى شكل سائل.

هـ- التفاعل يجب أن يكون عكسى تماماً بدون أى تفاعلات جانبية.

و - التفاعل يجب أن يكون سريعاً.

ز- يكون المرغوب فيه تغيرات المحتوى الحرارى (Enthalpy) للتفاعل.

ح- بالنسبة للتفاعل بدون عامل وسيط (Uncatalyzed)، يجب أن تكون المنتجات سريعة القابلية للفصل قبل التخزين. بالنسبة للتفاعل باستخدام العامل الوسيط يجب أن تكون المنتجات مستقرة خلال فترة التخزين والعامل الوسيط يجب أن يكون من السهل فصله من المنتج.

بالإضافة، من الواضح أنه يفضل أن تكون الكيماويات المطلوبة متاحة وبسرعة وبتكلفة منخفضة وسهلة التداول.

الآتى بعض من التفاعلات الكيميائية التى يتم توضيحها هنا من ناحية ثباتها المبنى على البيانات السابقة وتكون مناسبة للاستخدام فى التطبيقات الشمسية.

الجدول (6/9) الآتى يبين تفاصيل ثلاث تفاعلات

التفاعل	درجة حرارة التفاعل الأمامى ^{o}م	درجة حرارة التفاعل العكسى ^{o}م	الطاقة المخزنة لوحدة الحجم لمادة التخزين كيلو جول/م3
$CH_4 + H_2O \Leftrightarrow CO + 3H_2$	780	610	$10^3 \times 209.4$
$SO_3 \Leftrightarrow SO_2 + 1/2\ O_2$	1025	590	$10^3 \times 460.6$
$NH_4HSO_4 \Leftrightarrow NH_3 + H_2O + SO_2$	498	435	$10^3 \times 2143.7$

فى الجدول السابق التفاعل الأول هو تفاعل الميثان مع الغاز (Methane syngas) والذى يتم حدوثه فى وجود النيكل كعامل وسيط. ملاءمة التفاعل هى أن التقنية المطلوبة متاحة. بالإضافة فى التفاعل العكسى يستخدم تجارياً لتصنيع الميثان. على مستوى كبير. المشكلة الرئيسية هى أن المنتجات H_2 , CO هى غازات ويجب تخزينها عند ضغط حوالى 100 بار (10^7نيوتن/م^2). التفاعل الثانى وهو خاص بتحلل ثالث أكسيد الكبريت إلى ثانى أكسيد الكبريت والأكسجين فى التفاعل الأمامى ثم إعادة اتحاد ثانى أكسيد الكبريت والأكسجين لتكوين ثالث أكسيد الكبريت فى التفاعل العكسى، فى وجود العامل الوسيط. نظام التخزين هذا تم اقتراحة للاستخدام فى 100 ميجا وات محطة طاقة برج مركزى يعمل بدورة (Brayton) باستخدام الهيليوم كمائع تشغيل. السلبية المصاحبة لهذا النظام هى أنه رغم أن SO_2 يمكن تخزينه فى شكل سائل، فإن O_2 يتم تخزينه فى شكل غاز تحت ضغط حوالى 100 بار (10^7 نيوتن/م^2). مشاكل التآكل والأمان يمكن كذلك أن تتطلب اهتمام خاص. فى التفاعل الثالث ليست هناك حاجة للعامل الوسيط وهو يحقق كل البيانات السابق ذكرها.

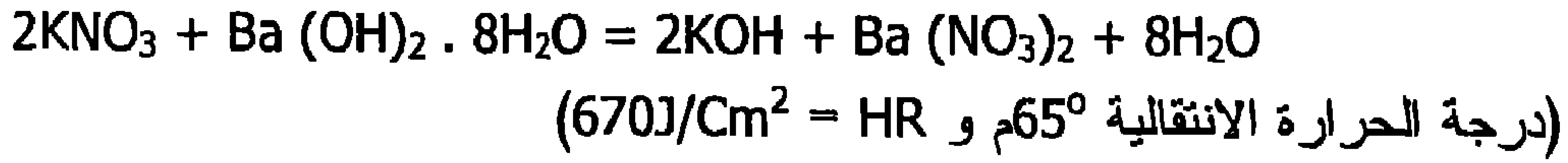
التحويل المزدوج لمعكوس زوج من الأملاح بدرجات حرارة انتقال محببة ومحتوى حرارى عالى (High Enthalpy) للانتقال يكون مناسباً لتخزين الحرارة عند درجة حرارة منخفضة. النظام باستخدام اثنين من الأملاح لهما كاتايونات مختلفة وأن أيونات مختلفة يسمى زوج ملح تبادلى (Reciprocal Salt pair). فى هذا النظام للتفاعل يكون ممكناً.



$$AB + CD \Leftrightarrow AD + CB + \Delta H$$

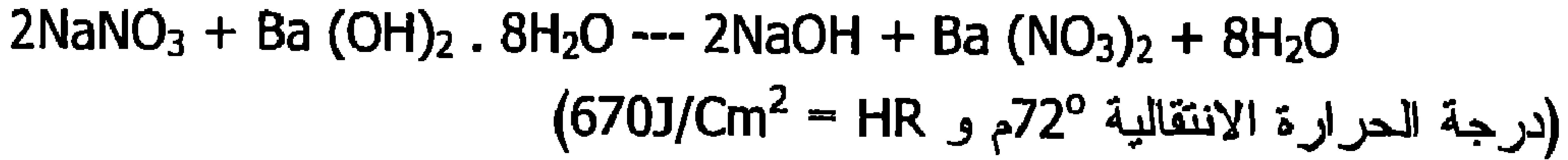
درجات حرارة الانتقال التقريبية لأكثر من 500 تبادل زوج أملاح (Reciprocal salt pairs) تم تعيينه بواسطة (Reiter) من بينها حوالى 30 زوج يبدو أنها مناسبة لتخزين الحرارة الشمسية.

أثنين من بين أفضل مثل هذا الزوج (Pairs) المتبادل متضمنا الملح المائى $Ba(OH)_2 - 8H_2O$ تم بحثه بواسطة (Reiter, rota) فى عام 1984 معمليا. زوج الملح هذا هو



$$2KNO_3 + Ba(OH)_2 . 8H_2O = 2KOH + Ba(NO_3)_2 + 8H_2O$$

(درجة الحرارة الانتقالية 65^oم و $HR = 670J/Cm^2$)



$$2NaNO_3 + Ba(OH)_2 . 8H_2O \text{ --- } 2NaOH + Ba(NO_3)_2 + 8H_2O$$

(درجة الحرارة الانتقالية 72^oم و $HR = 670J/Cm^2$)

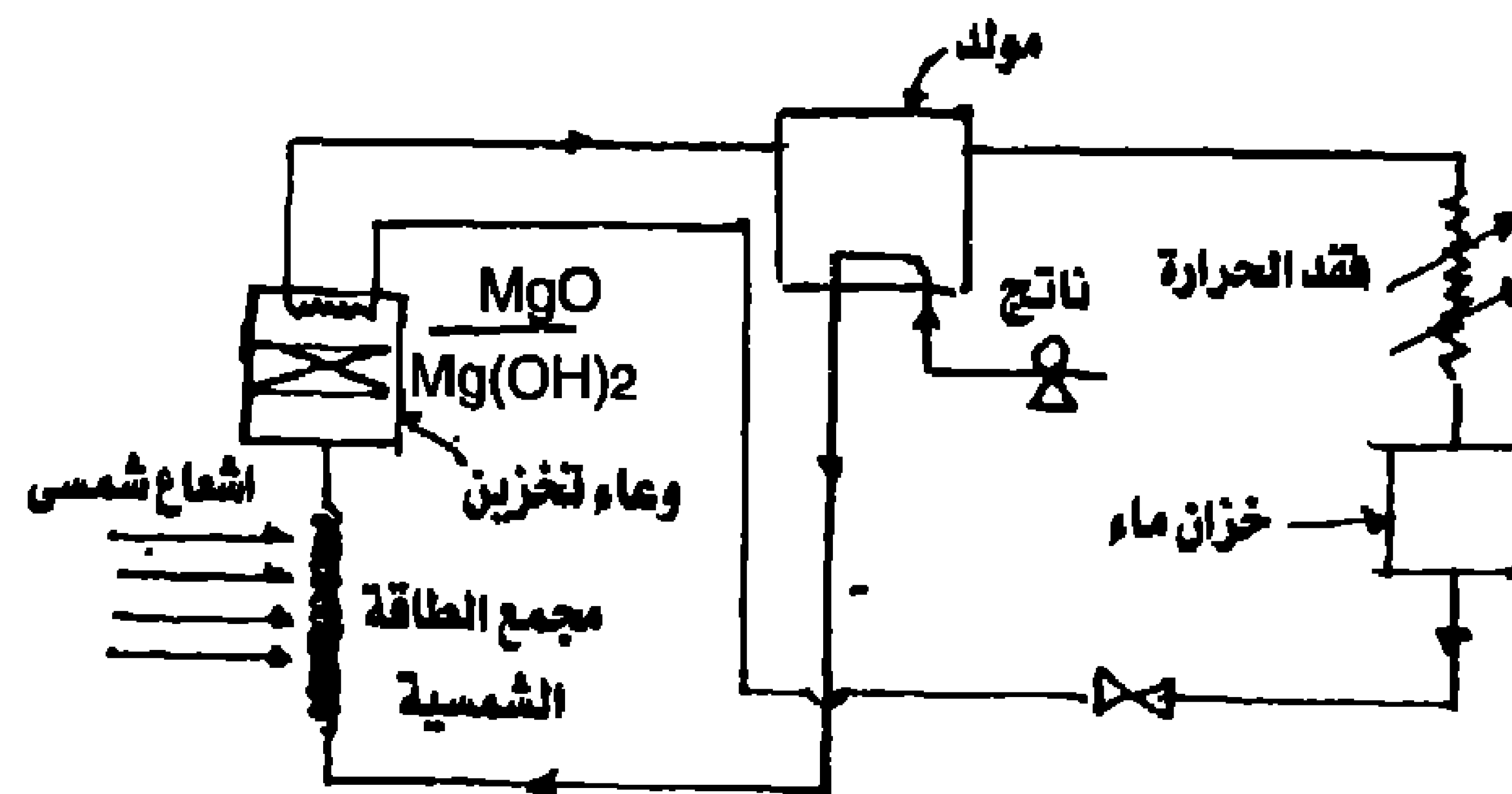
لقد أظهرت أبحاث مواد التخزين الحرارى درجات حرارة انتقال محببة، محتويات حرارية عالية للانتقال وتبرير فائق غير كبير. نوع تخزين الطاقة الحرارية متضمناً عملية كيماوية عكسية. أوكسيد/ إيدروكسيد كانت تحت البحث لعدة سنين. التفاعلات الأساسية هى من النوع الآتى:



$$M(OH)_2 + Heat = MO + H_2O$$

حيث M = مختلف معادن التربة القلوية مثل المغنسيوم، الكالسيوم والباريوم. التفاعل إلى الأمام حيث الايدروكسيد يتم تسخينه إلى الأكسيد ويحدث الفقد المائى (Dehydration) فى مجال تخزين الطاقة. التفاعل العكسى حيث الماء يتم إضافته إلى الأوكسيد وحدوث تقييم لكمية كبيرة من الحرارة، هذا هو مجال استعادة الطاقة (Energy Recovery Phase). معظم الأكاسيد الغير عضوية تنتج طاقة حرارية عند درجات حرارة عالية خلال دورة التميؤ.

تم توضيح طرق عديدة لأخذ الطاقة الحرارية فى ومن وعاء التفاعل. بالنسبة للنظم الصغيرة مثل التى يمكن اعتبارها لنظم التسخين والتبريد متوسطة الحجم، فإن المفهوم الأساسى الموضح فى الشكل (4/9) يكون مثاليا.

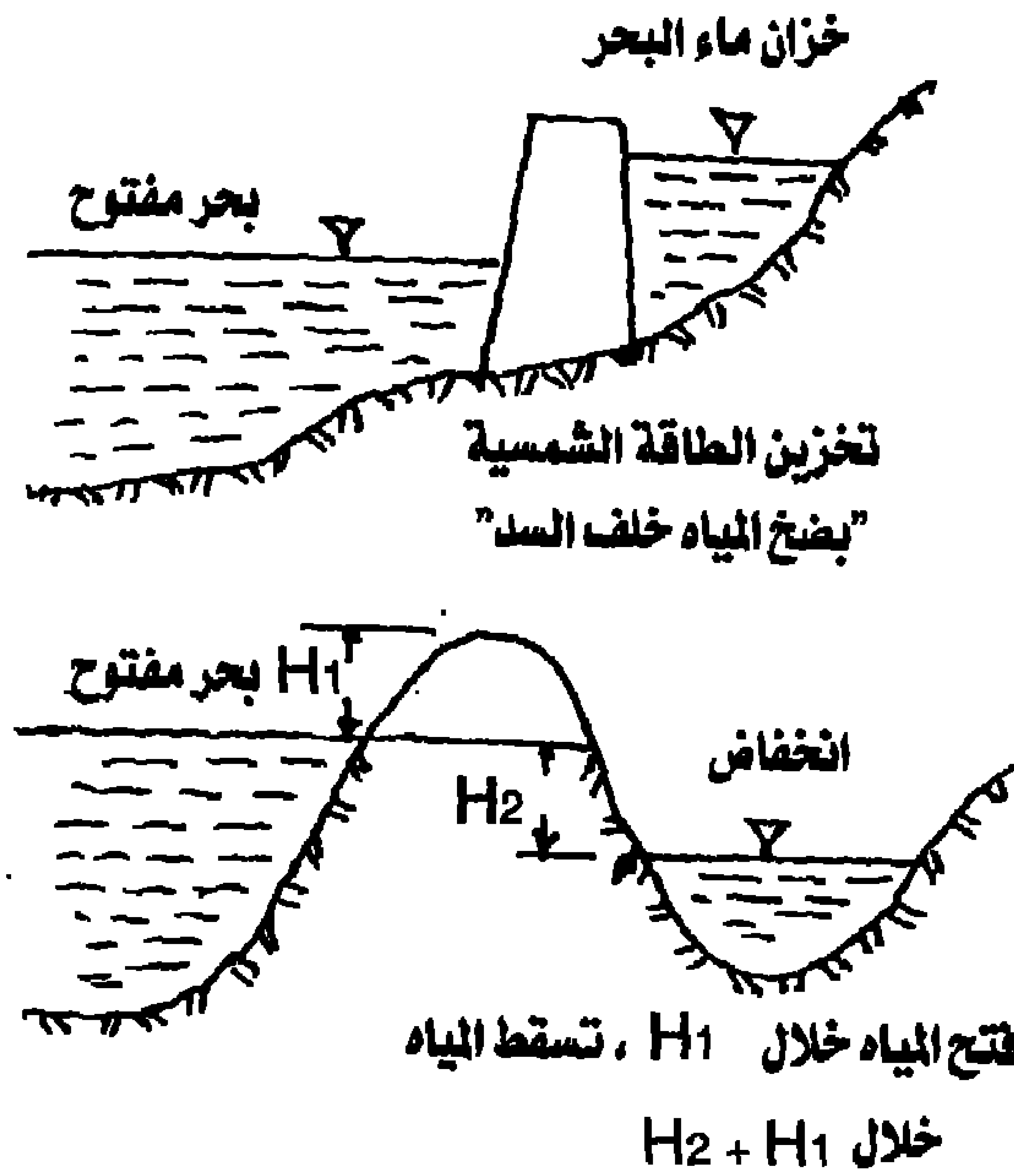


شكل (4/9) مبدأ مفهوم تخزين الاوكسيد / الايدروكسيد

عيوب زمن التخزين المحدود قبل فقد الطاقة نتيجة عمليات الانتقال الحرارى الطبيعية نتيجة لعمليات الانتقال الحرارى الطبيعية للحرارة المحسوسة والحرارة الكامنة يتم إبعادة فى الأداء الحرارى الكيميائى. من الممكن كذلك تحويل الطاقة الميكانيكية أوطاقة الوضع واستعادة طاقة الوضع عند الحاجة لتوفير التخزين للنظم الميكانيكية. مثل هذا النظام يمكنه كمثال ضخ المياه إلى خزان عالى خلال الفترات حيث الإشعاع الشمسى يكون متاحاً واستعادة الطاقة بتدفق المياه خلال التربين عند الحاجة إلى الطاقة.

يوجد العديد من الخطوط الساحلية القريبة من المحيطات والبحار فى المناطق الجافة والتى يمكن استخدامها للتخزين الهيدروليكى للطاقة الشمسية. يمكن بناء سد خلال وادى ليس بعيداً عن البحر (أو جسم ضخم من المياه). يمكن ضخ مياه البحر خلف السد باستخدام الطاقة الشمسية حيث يمكن إنتاج طاقة كهربية بواسطة محطة توليد كهرومائية تقليدية. هذه الطريقة لتخزين الطاقة الشمسية وإنتاج طاقة تيار متغير (AC) مباشرة فى هذا الشكل الماء يعمل فقط كمائع تشغيل بمجرد تأمين الحجم الأولى للماء، فإن التدفق المطلوب الوحيد يكون ذلك الضرورى لتعويض الفقد فى الماء بالتبخير (والتسرب). لذلك فإن المخطط ليس من الضرورى أن يكون قريباً من المسطح المائى الضخم.

طريقة أخرى لتخزين الطاقة الشمسية فى شكل طاقة هيدروليكية هى خلال تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة هيدروليكية كهربية (Helio - Hydroelectric Power conversion - HHE) طبقاً لطبوغرافية المنطقة، يمكن تخزين الطاقة الشمسية فى شكل هيدروليكى بطرق كثيرة. أولاً، فى حالة وجود منخفض طبيعى قريباً من حد الشاطئ. أحد الطرق لإحضار الماء من البحر المفتوح إلى المنخفض هو بحفر قناة مفتوحة خلال الصخور والتلال. ولكن هذه الطريقة تكون مكلفة جداً. نفس الطريقة يمكن استخدامها لاستكشاف هذه المنخفضات. فى هذه الحالة لا توجد حاجة للضخ الشمسى المباشر. حيث المرحلة الأولى، يمكن استخدام طاقة كهربية من مصدر آخر لبدء ضخ المياه من البحر. هذا المصدر يمكن أن يكون صغيراً جداً، مع بدء سقوط المياه فى المنخفض، فإن الطاقة الناتجة يمكن استخدامها كلية لزيادة الضخ لحين الوصول إلى حالة ثبات. المصدر الأصلى المثير للطاقة يمكن عندئذ عزله، مع استمرار التغذية الاسترجاعية (Feed Back) يمكن أن تستمر لضخ متوسط التدفق المطلوب شكل (5/9).



شكل (5/9) تخزين الطاقة الشمسية بالنظم الهيدروليكيه

التخزين المائى (Hydro storage) طريقة معقولة وذات كفاءة.الطاقـة اللازمـة لضخ الماء إلى أعلا التل يمكن إعادة تحويلها بنسبة كفاءة حوالى 65 إلى 75%، نظراً لعدم وجود دورة حرارية حركية (Thermodynamic sycle). يبدو أن التخزين المائى (Hydro storage) مثالى بالنسبة لتخزين الطاقة الشمسية لإنتاج الطاقة.

محطة الطاقة الشمسية تنتج طاقة بأقصى معدل خلال اليوم وتكون فى الاحتيـاط خلال الليل، المحافظة فقط على درجة الحرارة المناسبة للنظام بحيث يكـون جـاهزاً لإنتاج الطاقة فى اليوم التالى بمجرد وصول نظام المجمع الشمسى إلى درجة حـرارة التشغيل.

الفصل العاشر

البرك الشمسية

Solar Ponds

1- مقدمة :

البرك الشمسية تجمع بين جمع الطاقة الشمسية وتخزين الحرارة المحسوسة (Sensible Heat). لقد لوحظت التغيرات فى درجة الحرارة فى البحيرات الطبيعية ذات تدرجات تركيز عالية من الأملاح المذابة (أى المحلول المركز عند القاع والمحلول المخفف عند القمة). هذه الظاهرة اقترضت احتمال إنشاء مجمعات شمسية، أفقية على مستوى كبير فى شكل برك. لم يتم اقتراح بدون الحمل الحرارى (Non-convective) كطريقة بسيطة وغير مكلفة نسبياً لجمع وتخزين الطاقة الشمسية على مستوى كبير.

الخاصيتين الأساسيتين للطاقة الشمسية، هما تخفيفها (Diluteness) والطبيعة المتقطعة، هما كذلك أسباب عدم حشد الطاقة الشمسية على مستوى كبير فى الوقت الحالى. أولاً، المجمعات المصنعة المستخدمة لمواد مثل الزجاج، المعادن، الخشب..الخ.لها حدود حجميه ولذلك فإنه يكون من المناسب التوصيل ما بين عدد كبير منها بطريقة مناسبة وذلك لجمع كمية كبيرة من الطاقة الشمسية. ثانياً لإمداد الطاقة عند الحاجة سوف يستلزم نظام لتخزين الطاقة ونظام إعادة تحويل وذلك للمواءمة مع التغيرات فى الأشماس بسبب غطاء السحب، والتأثيرات الموسمية واليومية (Seasonal and Diurnal).

البرك الشمسية توفر طريقة اقتصادية حول هاتين المشكلتين وذلك باستخدام كتلة من الماء لكل من المجمع والتخزين للطاقة الشمسية. الطاقة المخزنة فى شكل لحرارة (60° إلى 100°م) والذى يمكن أن يكون مناسباً لاستخدامات عديدة مثل تدفئة الفراغ وتسخين العمليات الصناعية. فى المقابل محركات دورة رانكن العضوية (Organic rankine cyck) يمكن استخدامها للحصول على طاقة ميكانيكية و/أو طاقة كهربية.

تمت دراسة البرك الشمسية من الناحية التجريبية والتحليلية فى إسرائيل فى روسيا واليابان..الخ.

استخدام بركة التدرج الملحى الشمسية ذات مساحة 400 متر مربع فى عام 1981بواسطة (نيلسون وكمال). فقد وجد أن الفقد الحرارى إلى الأرض زاد من التدرج الحرارى بالبركة. فى تقرير عام 1981أن البرك الشمسية ذات التدرج الملحى فى جامعة نيومكسيكو قد وصلت إلى درجة حرارة 8-1°م، وكانت تغلى خلال شهر يوليو 1980. ثبات واستقرار تدرجات الملح ودرجة الحرارة حدث لهم اضطراب شديد عندما بدأت البركة فى الغليان. نظراً لأن تلك البركة كانت ذات حجم صغير نسبياً (قطر 13

متر)، فإنه يكون من المتوقع أن البرك الكبيرة سوف تكون أكثر حساسية للغليان، وذلك فى حالة عدم استخلاص الحرارة.

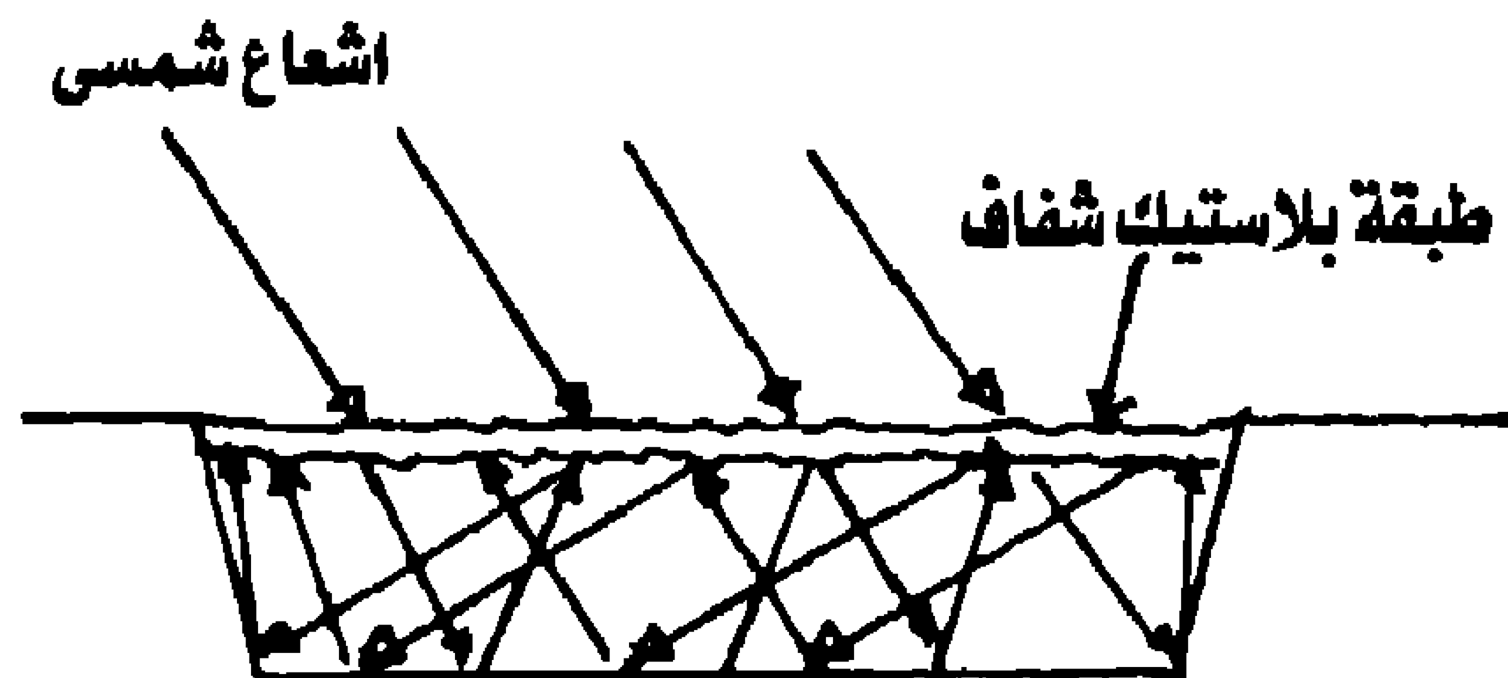
احتمال استخدام البرك الشمسية لتوفير الماء الساخن للتجمعات السكانية تمت دراسة عام 1981. لقد أظهرت الدراسة أنه سوف يكون مجدياً من الناحية الاقتصادية والتقنية استخدام البرك الشمسية لإمداد المتطلبات الحرارية للمجتمع. تم تقدير وتوفير البرك الشمسية لتوفير كل المياه الساخنة المنزلية وكذلك التدفئة المنزلية لتجمعات فى واشنجتن، تكساس. وقد وجد كمثال، أن البرك الشمسية ذات قطر 100 متر وذات طبقة تخزين بعمق 1 متر سوف توفر الطاقة الكافية لتشغيل وحدة التبريد بالامتصاص أو دورة راتكن لتلبية متطلبات المكيفات المنزلية لعدد 50منزل. لقد تم اختبار تطبيقات البرك الشمسية بدون الحمل الحرارى لتدفئة المنازل وتوفير الحرارة اللازمة للعمليات الصناعية. ولقد قرر أن التكلفة الرئيسية لاستخدام التدرج الملحى هو كمية الملح الضرورى لاستمرار تدرج الملوحة.

1- مبدأ العمل للبرك الشمسية :

البركة الشمسية هى تجهيزه بسيطة لجمع وتخزين الحرارة الشمسية – البرك الطبيعية تحول الإشعاع الشمسى إلى حرارة، ولكن الحرارة تفقد سريعاً خلال الحمل الحرارى (Convection) فى البركة والتبخير من سطحها. على الجانب الآخر، فإن البركة الشمسية، تصمم لخفض الفقد الحرارى بالحمل الحرارى وبالبخر بحيث أنه يمكن جمع كمية مفيدة من الحرارة وتخزينها. البرك الشمسية يمكن تقسيمها بحاملة للحمل الحرارى (Convecting) أو غير ذات الحمل الحرارى (Non convecting).

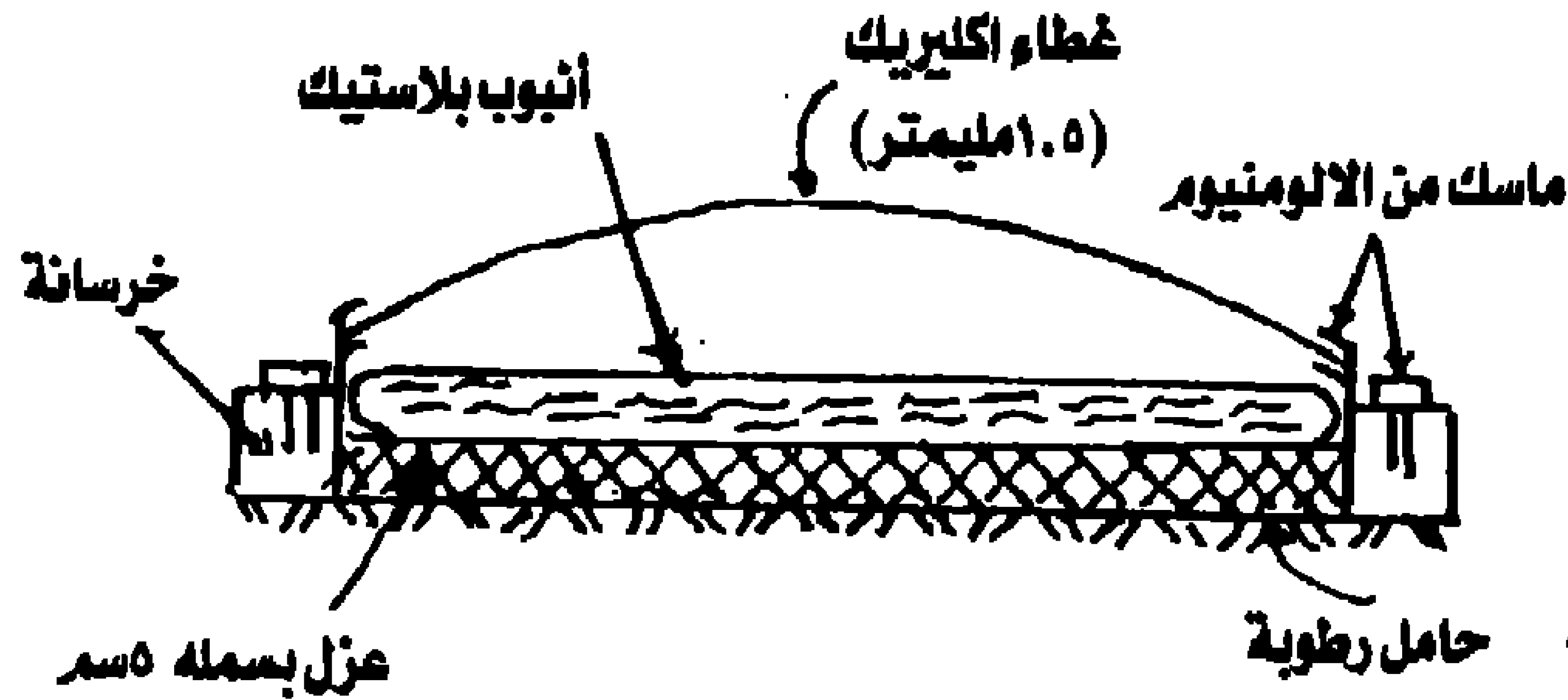
البرك الشمسية بالحمل الحرارى: (Convecting solar Bonds)

البرك الشمسية بالحمل الحرارى تقلل الفقد الحرارى لكونها مغطاة بغشاء شفاف أو زجاجى شكل (1/10).



شكل (1/10) البركه الشمسيه بالحمل الحرارى

أحد أنواع البرك الشمسية الحرارية بالحمل الحرارى تستخدم أنبوب مملوء بالماء، كما هو موضح فى الشكل (2/10). كل نموذج للبركة يشمل كـيس بلاسـتك طويـل وضيق بمقياس 5سم × 60 سم ومحتوياً على الماء بعمق 5 – 10 سم.الكيس له سـطح شفاف ليسمح بانتقال ضوء الشمس ولمنع الفقد بالتبخر. قاع الكيس يكون أسود ليمتص ضوء الشمس. طبقة العزل أسفل الكيس البلاستك تقلل الفقد الحرارى نحو الأرض. أحد الطبقتين يمكن تقويسها فوق كيس الماء لمنع الفقد بالحمل الحرارى والإشعاع.



شكل (2/10) مقطع لبركه شمسيه ضحله

فى هذا النوع من البرك الشمسية، يزال الماء الساخن متآخراً بعـد الظهـر ويـتم حفظه فى خزانات معزولة. مادة الشفافة الزجاجية للبركة الشمسية قد تشمل طبقة مـن بولى فينيل كلورايد (PVC)، وأسطح شفافة رائقة من الأكليريك. الأسطح التى تغطـى الأكياس البلاستك تحجب الأشعة فوق البنفسجية (UV) وتزيد إلى حد كبير مـن زمـن الخدمة للأكياس البلاستك.

البرك الشمسية بدون الحمل الحرارى (Non - convecting solar ponds)

البرك الشمسية بدون الحمل الحرارى تمنع الفقد الحرارى بإعاقة الحمل الحـرارى إلى قوى سببها الطفو الحرارى. فى البرك الشمسية بالحمل الحـرارى، يـتم انتقـال الإشعاع الشمسى خلال الماء نحو القاع، حيث يتم امتـصاصه، بالتـالى فـإن المـاء الملاصق للقاع يتم تسخينه. قوى الطفو الطبيعية تسبب الارتفاع والصعود للمياه التى تم تسخينها، حيث تنطلق الحرارة إلى الجو عندئذ. فى البـرك الشمـسية بـدون الحمـل الحرارى، يمنع صعود الماء الساخن إلى السطح. البرك بدون الحمل الحرارى يمكـن تثبيتها باللزوجة، أو الهلام (Gel) أو إلى الملح. بركة التدرج الملى هى النوع العـادى من البرك الشمسية غير ذات الحمل الحرارى. والتى سيتم مناقشتها.

برك التدرج الملحى : (Salt gradient ponds)

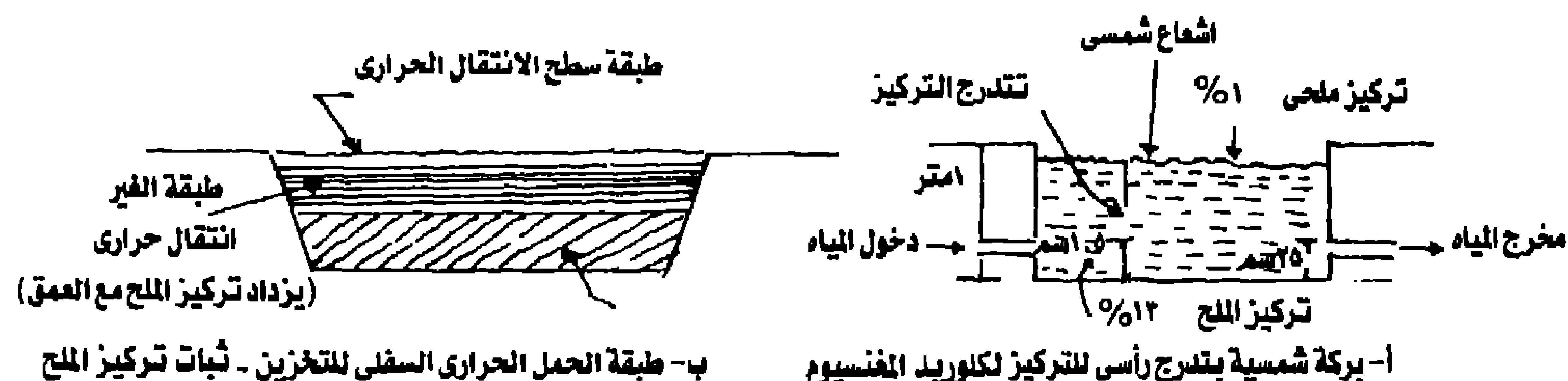
البركة الشمسية هى كتلة من الماء الضحل بعمق حوالى 1 - 1.5 متر ذات مساحة تجميع كبيرة، والتى تعمل كمصيدة حرارة. وهى تحتوى على أملاح مذابة لتوليد تدرج

كثافة ثابت. الأملاح تحت إذابتها بتركيزات عالية قريباً من القاع، مع تقليـــل التركيـــز نحو السطح. الأملاح المستخدمة عادة لبرك التدرج الملحى هى كلوريـــد الـــصوديوم وكلوريد المغنسيوم، وتوجد أملاح كثيرة أخرى.

جزء من الإشعاع الشمسى الداخل إلى سطح البركة يتم امتصاصه خـــلال العمـــق والباقى الذى يخترق البركة يتم امتصاصه عند القاع الأسود. إذا كانت البركة قـــد تـــم ملئها بالماء العذب، فإن الطبقات السفلى تسخن وتتمدد وترتفع نحو السطح. بسبب خلط الحمل الحرارى والفقد الحرارى عند السطح، فإنه يتم تحقيق ارتفاع صغير فى درجـــة الحرارة فى البركة. على الجانب الآخر، فإن الحمل الحرارى يمكـــن إبعـــاده بـــالأداء الأولى للتدرج الذى يكفى للتركيز القوى للملح. فى هذه الحالة، فإن التمدد الحرارى فى الطبقات السفلية الأكثر سخونة يكون غير كافياً لعدم استقرار البركة. مع تقييد الحمـــل الحرارى، فإن الحرارة تفقد من الطبقات السفلى بالتوصيل الحـــرارى فقـــط. بـــسبب التوصيل الحرارى المنخفض نسبياً للماء، فإنه يعمل كعازل ويسمح بتكـــون درجـــات حرارة مرتفعة (أعلا من 90^{o}م) فى طبقات القاع.

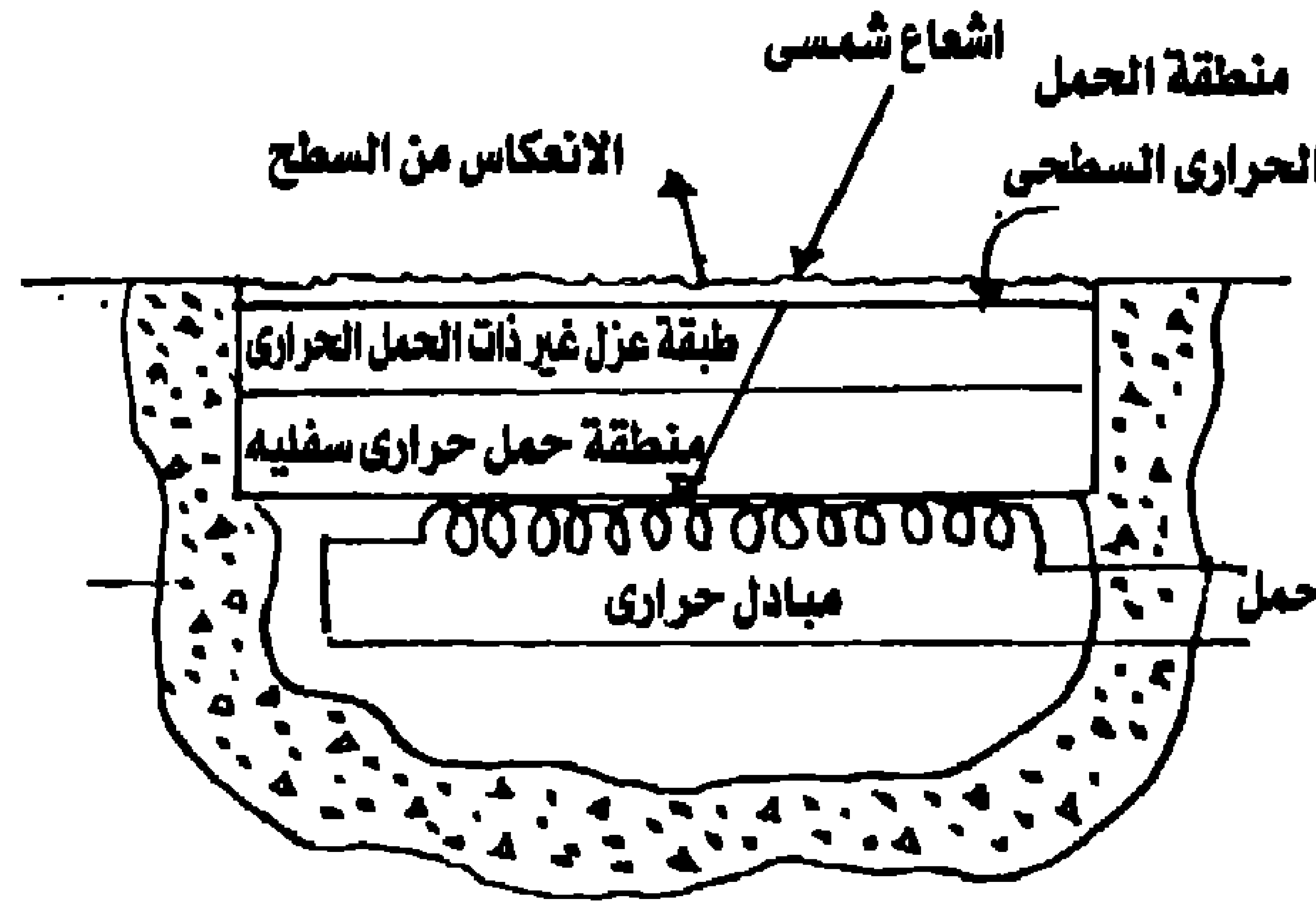
الطاقة يمكن استخلاصها من البركة باستقبال الماء فى الطبقات الـــساخنة للبركـــة خلال مبادل حرارى.

بركة التدرج الملحى الشكل (3/10 ب) تتكون من ثلاث طبقات. فى الطبقة العليا، يحدث حمل حرارى عمودى بسبب تأثيرات تبخير الرياح. لا يوجد غطاء غـــشائى أو زجاجى لتغطية هذه البركة. الطبقة التالية، التى يمكن أن تكون بسمك حوالى متر واحد تحتوى تركيز زائد من الملح مع زيادة العمق. هذه الطبقة ليست ذات الحمل الحرارى، رغم أن درجة الحرارة قد تزداد مع العمق، بسبب أن تركيز الملح الأعلى مـــع زيـــادة العمق يوقف مفعول قوى الطفو الحرارى. طبقة القاع هى طبقة حمـــل حـــرارى ذات تركيز ثابت للملح أساساً، والتى توفر التخزين الحـــرارى. بـــرك غيـــر ذات الحمـــل الحرارى من هذا النوع عرفت أنها تسخن المياه إلى درجة حرارة الغليان.



تشكل (3/10) التدرج الملحى للبركة الشمسية

أحد الطرق لاستخلاص الحرارى من مثل هذه البركة بدون إحـداث خلـط غيـر مطلوب هو بوضع مبادل حرارى أسفل المنطقة السفلية مباشرة كما هو موضـع فـى الشكل (4/10).



شكل (4/10) بركه شمسية بالتدرج الملحى والمبادل المادى

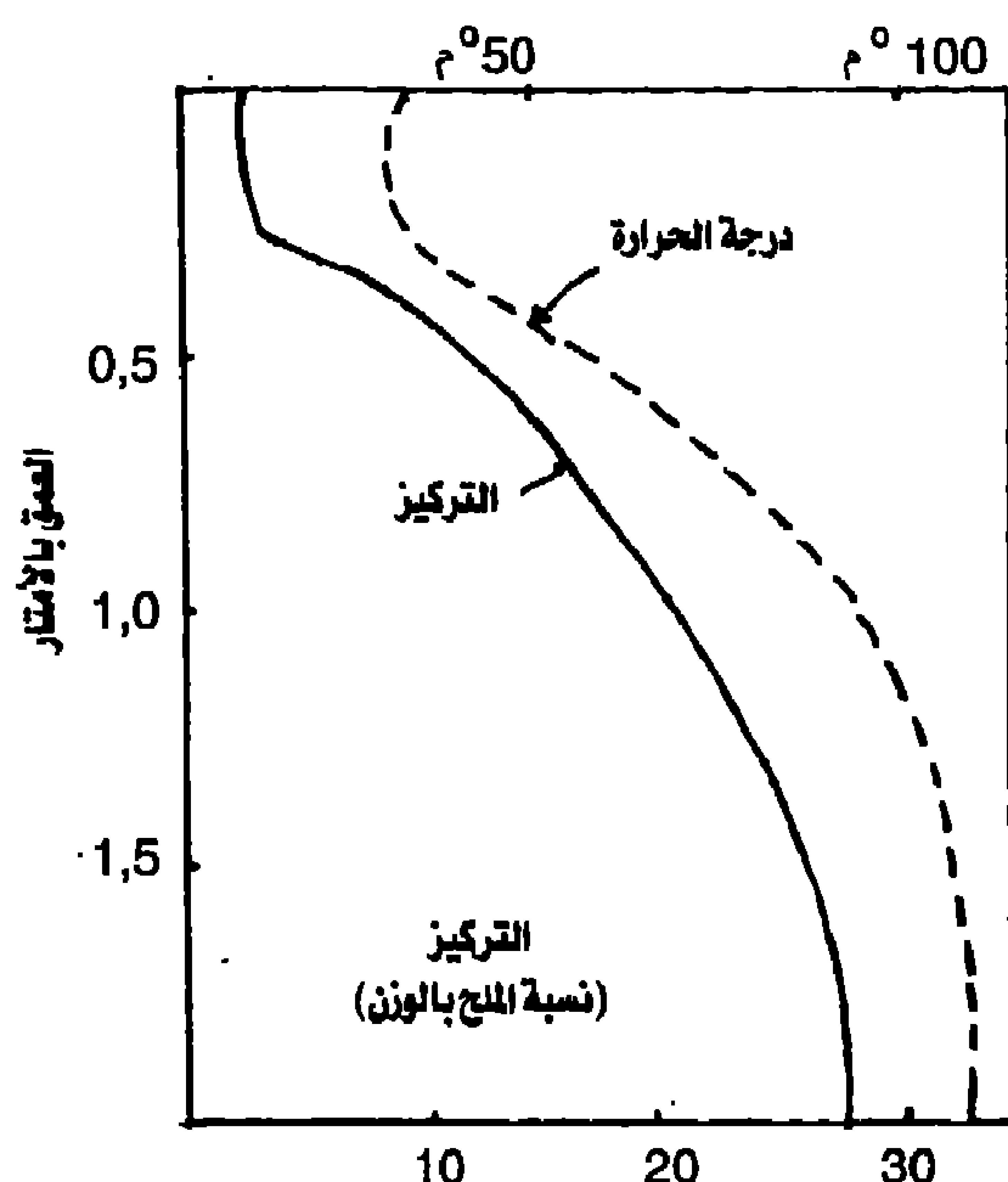
فى البرك الشمسية ذات التدرج الملحى، يستخدم الملح المذاب لإنتاج طبقـة مـن الماء ذات كثافات مختلفة . زيادة الملح، زيادة كثافة الماء تركيز الملح عنـد الـسطح يكون مخففاً – عادة أقل من 5% بالوزن ولذا فإن الماء يكون خفيف نـسبياً. تركيـز الملح يزداد بالتدرج مع العمق حتى القاع حيث يكون عالى جداً، حوالى 20%، لـذلك، فإن البركة السطحية يكون لها ثلاث مناطق ذات الملوحة الآتية مع العمق.

1- منطقة الحمل الحرارى السطحية أو منطقة الحمل الحرارى العلوية من 0.3 إلى 0.5 متر والملوحة أقل من 5%.

2- منطقة غير ذات الحمل الحرارى من 1 إلى 1.5 متر تزداد الملوحة مع العمق.

3- منطقة التخزين السفلية ذات الحمل الحرارى من 1.5 إلى 2 متر الملوحة حوالى = 20%.

التقسيم السابق للمنطقة، للبركة الشمسية ذات عمق 2 متر هو للتوضيح فقط، بينما العمق قد يتراوح ما بين 1 متر إلى 2 متر. عند القاع توجد منطقة التخزين، والتى هى نموذجياً تكون بعمق من واحد إلى 2 متر ولكن يمكن أن تكون صغيرة حتى نصف متر أو بعمق عدة أمتار مع زيادة عمق المنطقة، يزداد التخزين الحرارى شكل (5/10).



شكل (5/10) درجة الحرارة والتركيز لبركه نموذجيه

المنطقة السفلى تحتجز لفترات طويلة، حيث تعيق تأثيرات التغيرات اليومية وحتى الموسمية. هذه الإمكانية للتخزين منخفض التكلفة هى واحد من المميـــزات الرئيـــسية للبرك الشمسية بالتدرج الملحى، يمكن سحب الطاقة ليلاً وكذلك خلال النهـــار. حتـــى خلال الفترات الطويلة لغطاء السحب أو حتى غطاء الثلوج فإن الطاقة المخزنة تظـــل متاحة. نظراً لأن المياه المالحة قريباً من القاع، تسخن فإنها تتمدد. ولكن، لا يمكنها أن ترتفع لأنها أكثر كثافة عن الماء الأقل ملوحة أعلاها. لذلك، فإن البركة الملحية تكـــون من النوع "بدون الحمل الحرارى" أى (Non convecting)، والمـــاء الـــساخن يظـــل محتجزا فى القاع. بعض الحرارة لا يزال يفقد بالتوصـــيل الحـــرارى (Conduction) نحو السطح، ولكن هذه العملية أضعف من الحمل الحرارى. المياه السفلية قـــد تـــسخن حتى إلى ما بعد نقطة غليان الماء النقى. أعلا درجة حرارة التى تم تسجيلها فى البركة الشمسية هى 108^{o}م.

طبقاً للمكان، نقاء الماء ودرجة الحرارة، فإن البركة الشمسية يمكن أن تقتنص حتى 10 إلى 20% من الطاقة الشمسية الساقطة على سطحها. لذلك، فإن كل متر مربع من مساحة سطح البركة يمكنه إمداد ما بين 1.5 إلى 2جيجا جول من الطاقة الحرارية فى العام عند درجة حرارة من 40^{o}م إلى 80^{o}م. المجمع الشمس باللوح المـــستوى بـــنفس المساحة يكون بضعف الكفاءة ولكن التكاليف تكون بعشرة أضعاف.

3- تكوين واستمرار تدرج الكثافة الملحية :

النجاح التقنى للبركة الشمسية الجامعة للطاقة الشمسية يعتمد أساساً على ثبات واستقرار طبقة عدم الحمل الحرارى، جزء الإشعاع الشمسى الساقط الواصل إلى قاع البركة، كمية الحرارة المفقودة من منطقة الحمل الحرارى والاستخلاص المؤثر للحرارة للاستخدام المباشر أو فى الدورة الحرارية الحركية (Thermodynamic cycle).

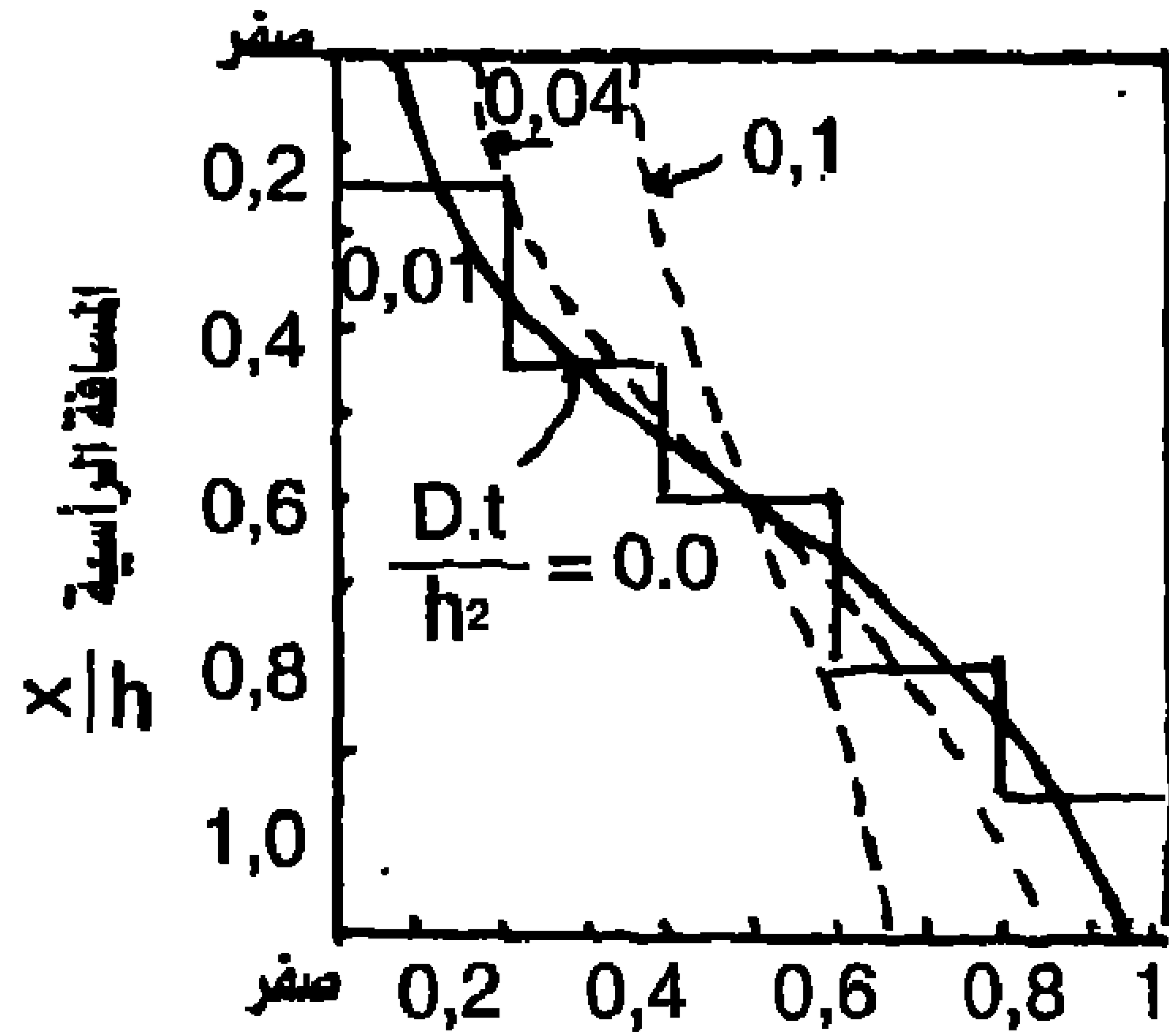
الملح المستخدم فى البركة الشمسية لإنتاج تدرج فى الكثافة يتطلب الخواص الآتية:

1- يجب أن يكون له قيمة عالية من الإذابة ليسمح بكثافات محلول عالية.
2- الإذابة يجب أن لا تتغير كثيراً مع درجة الحرارة.
3- المحلول يجب أن يكون شفافا إلى حد ما للإشعاع الشمسى.
4- يجب أن يكون آمن بيئياً، غير مسبب لتلوث المياه الجوفية.
5- يجب أن يكون متاحاً بوفرة قريباً من الموقع لخفض التكلفة الكلية.
6- كما يجب أن يكون غير مكلف.

نظراً لأن الملح يشكل معظم التكلفة للبركة، لذلك فإن الجدوى الاقتصادية للبركة الشمسية سوف تعتمد كلية على الاختيار المناسب للملح. ثبات الطبقة غير ذات الحمل الحرارى فى وجود التدرج فى درجة الحرارة يمكن استمراره بإيجاد تدرج حاد فى تركيز الملح. بغرض إيجاد التركيز الأولى للملح بالتدرج المطلوب لمنع الحمل الحرارى، فإن الأداء العادى هو بملئ البركة بطبقات متعددة من محلول الملح مع الطبقات المتتالية التى تتغير فى درجات التركيز من القريب من التشبع عند القاع إلى الماء العزب عند السطح. بالنسبة للبركة النموذجية ذات عمق متر واحد، فإنه يمكن استخدام من 6 إلى 8 طبقات. الطبقات الأقل كثافة يمكن أن تطفو بالتتالى نحو قمة تلك الموجودة، أو أى الطبقات الأكثر كثافة يمكن أن توضح بالتتالى نحو القاع متدفقة تحت التيار وبالتدريج ترتفع كل البركة. بسبب الخلط المضطرب والتسرب الجزيئ، الذى يحدث أثناء الملئ، فإن الشكل العام لسلم التركيز الموضح فى الشكل (7/11) يحدث تدرج فى التركيز متجانس تقريبا. مختلف الأملاح مثل كلوريد المغنسيوم ($MgCl_2$)، نترات الصوديوم (Na_2NO_2) ، كلوريد الصوديوم ($NaCl$) ..الخ. تم اقتراحها وكذلك، الأملاح المتاحة طبيعيا ذات مكونات كيماوية مخلوطة والتى تتغير من مكان إلى آخر.

كلوريد المغنسيوم ونترات الصوديوم لهم أعلا كثافات تشبع مقارنة بكلوريد الصوديو وبذا يمكنهم توفير ثبات أكثر فى حالة سخونة البركة. القيم التقليدية لتركيز

الملح عند سطح القاع هى 20 كيلو جرام/ المتر المكعب تزاد إلــى 300، 260 كيلــو جرام/المتر المكعب لكل من كلوريد المغنسيوم وكلوريد الصوديوم على التوالى، عنــد القاع. كمية الملح المتسرب نحو الطبقة العليا تكون لحسن الحظ منخفضة بمــا يكفــى لاستمرار ثبات واستقرار البركة لعدة أسابيع. ولكن، يكون مــن الــضرورى إضــافة محلول ملح مركز من أن إلى آخر عند القاع وغسيل السطح بماء عــذب لاســتمرار التركيز المتدرج فى وجود تأثيرات التسرب والانتشار. تأثير الرياح السطحية والأمواج يوجد منطقة حمل حرارى علوية. العمق عند هذه المنطقة يجب المحافظة عليــه عنــد الحد الأدنى (10 – 15 سم) لزيادة كفاءة الجمع. عمق طبقة الحمل الحــرارى الــسفلية يحدد كمية الطاقة الحرارية التى يمكن تخزينها وهو حوالى من نصف متر إلى واحــد متر.



شكل (6/10) شكل من 6 طبقات سليمة (D) هم معامل التسرب الجزئى ،

الوقت(t)، (h) هو العمق الكلى ، التركيز C(x/h,t)

فى عدم وجود أى تدفق للملح عند قاع وقمة البركة، فإن الانتشار الجزيئ ســوف يميل إلى محور التكوين الأولى لتدرج الكثافة. هذا الفقد بالتــسرب يمكــن اســتعادته واستمرار تدرج التركيز وذلك بإدخال محلول ملح مركز من آن إلى آخر عنــد القــاع وغسيل السطح بالماء العذب. غسيل السطح بالماء العذب يمنع زيادة التركيز قريباً من القمة الذى يمكن أن يحدث، ليس فقط بسبب التسرب الجزيئى ولكن بــالتبخر والخلــط بسبب الرياح والأمواج..الخ. أسلوب أكثر كفاءة الذى لا يتطلب الإضــافة المــستمرة للملح، هو مفهوم البركة المنخفضة (Falling Pond concept). يتم سحب السائل مــن الطبقة الساخنة ووضعه خلال مبخر وميضى (Flash Evaporator) حيث يتم استخلاص الحرارة. المحلول الآن له تركيز أعلا وحجم أصغر، عندئذ يتم إعادته إلى قاع البركة.

الاختلاف بين المعدلات التى عندها يتم استخلاص السائل وعودته بسبب هبوط ثابت للبركة، المعدلات التى يتم اختيارها بحيث يتم تعويض التسرب الجزيئى للملح إلى أعلا والماء العذب المضاف عند السطح الحر لاستمرار ثبات كلاً من عمق البركة وتركيز السطح. سرعة الهبوط مقدرة بحوالى 0.2 إلى0.5 مليمتر فى اليوم. طريقة أخرى للمحافظة على تدرج الكثافة والتى ثبت نجاحها معملياً. وهى تتكون من فصل الطبقات الست لمحلول كلوريد المغنسيوم ($MgCl_2$) التى تملأ البركة باستخدام طبقات شفافة من البلاستك. الطبقات بها عديد من الثقوب الصغيرة لمنع نمو فقاعات الهواء بين الطبقات.

قد يكون من المفيد تغطية سطح البركة بحشية بلاستك منفوخة ورائقة مثل تلك المستخدمة لتدفئة حمامات السباحة بالطاقة الشمسية. فهى توفر طبقة عزل إضافية، تقلل من الفقد بالبخر، وتمنع دخول الأتربة والمطر من دخول البركة كما تمنع حدوث التيارات السطحية بفعل الرياح.

مشكلة محتملة أخرى وهى فقد الملح والحرارة بتسرب المحلول خلال قاع البركة المسامى. لمنع ذلك، فإن قاع البركة يمكن تغطيته بطبقة بطانة غير مسامية من البلاستك أو المطاط. لتكوين درجات حرارة مرتفعة عند قاع البركة، فإنه يوجد احتمال تكوين فقاعات غاز نتيجة تآكل المادة العضوية. مشكلة الفقاعات هذه يمكن تجنبها بوضع طبقة رمل بسمك 15سم أسفل البطانة، بحيث أن الغاز يمكن أن يتسرب إلى أعلا خلال ميول البركة إلى الجو.

جزء الأشماس الذى يصل إلى قاع البركة يتوقف على عمق البركة. البرك العميقة تقلل الفقد الحرارى إلى أعلا من منطقة الحمل الحرارى السفلية ولكنها تقلل كذلك كمية الأشماس التى تصل إلى قاع البركة. ولكن نظراً لأن ما حول أسفل البركة سيتم تسخينه، فإنه يلزم الحذر لضمان أن هذه السخونة سوف لا تسبب النمو الغير مطلوب للبكتريا والكائنات الصغيرة الأخرى التى قد تتلف القاع الأسود للبركة. بمجرد تسخين الأرض أسفل البركة واستقرارها حرارياً، فإنها سوف تعمل مثل العازل الحرارى وسوف تعيد جزء من الحرارة خلال شهور الشتاء. يمكن خفض الفقد الحرارى خلال الحوائط الجانبية وذلك بتصغير محيط البركة ما أمكن ذلك لمساحة البركة ولذلك فإنه يقترح البركة المستديرة. ولكن لأسباب عملية، فإن البركة لا يتم إنشاءها عادة فى أشكال دائرية محددة.

استخلاص الطاقة الحرارية : Extraction of Thermal Energy:

الطاقة تكون مخزنة فى شكل حرارى متدنى النوعية للمنطقة السفلى للحمل الحرارى. الحمل الحرارى فى المنطقة يرجع إلى عملية استخلاص الحرارة، ويتم

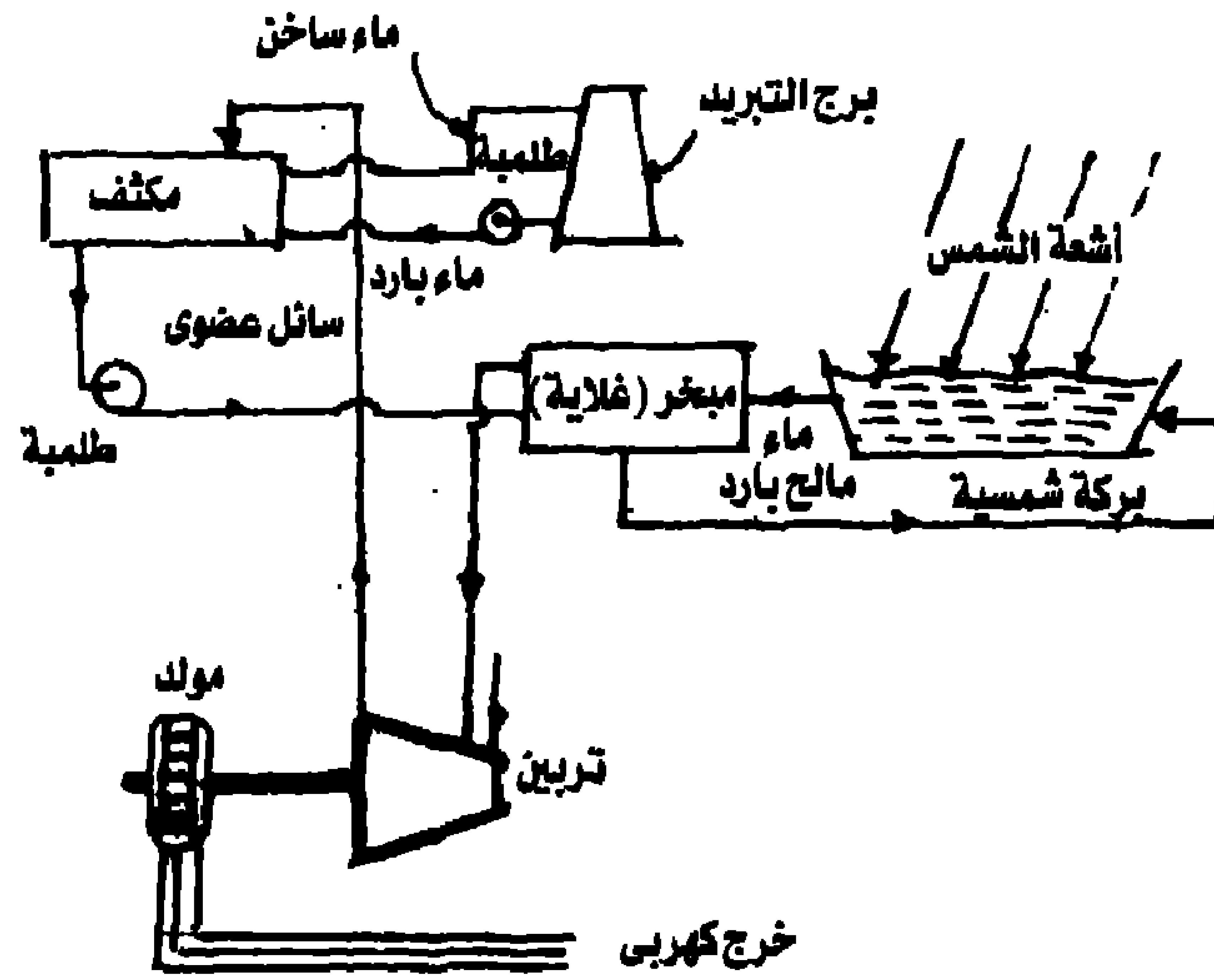
بسحب الماء الساخن عالى الملوحة (Hot Brine) وعودة الماء البارد عالى الملوحة. أنه ليس عملياً تغطية قاع البركة بأى مصفوفة من المواسير التى تعمل كمبادل حرارى لسببين (1) زيادة كبيرة فى التكلفة فى حالة البرك الضخمة بحجم حوالى كيلو متر مربع، (2) فى حالة عدم وجود حمل حرارى حول المواسير فإن الانتقال الحرارى من الماء الساخن عالى الملوحة المستقر نحو المائع فى المواسير سيكون ضعيفاً جداً.

استخلاص الطاقة الحرارية المخزنة فى الطبقات السفلى للبركة يمكن تنفيذه بسهولة بدون حدوث اضطراب لمنطقة التدرج الملحى قوتها غير ذات الحمل الحرارى. الماء الساخن يمكن استخلاصه من البركة الشمسية بدون اضطراب لتدرج التركيز.يتم ذلك بعمل مخرج المياه عند نفس الارتفاع لمدخل المياه. يمكن سحب الماء المالح الساخن وإعادة الماء المالح لبارد فى شكل تدفق رقائقى بسبب وجود تدرج فى الكثافة. بالنسبة للبرك الصغيرة (أو البرك التجريبية)، يمكن وضع المبادلات الحرارية المكونة من مواسير فى الطبقات السفلى الساخنة.

ولكن هذا يستلزم ليس فقط التكاليف الأولية للإنشاء ولكن الفقد المستمر للضخ المصاحب للانتقال الحرارى للمائع. الأسلوب السهل للاستفادة من الطبقات ذات الكثافة الثابتة هو باستخدام طريقة السحب الانتقائى، التقنية المطبقة عادة للتحكم فى نوعية المياه فى الخزانات الضخمة.يتم وضع غاطس فى طبقة سائل ثابتة الذى يسحب السائل من طبقة رقيقة أفقية، مثل حالة سحب ورقة من الكتشينه. هذا التدفق يختلف إلى حد ما عن ذلك الذى يمكن أن يحدث إذا كان السائل متجانساً. ظاهرة السحب الانتقائى توفر الطرق التى بها أولاً تدرج الكثافة الثابت المطلوب فى طبقات العزل العليا يمكن تصحيحه واستمراره ثانياً طبقة الماء الساخن يمكن إزالتها، ومرورها خلال مبادل حرارى وعودتها عند درجة حرارة أقل نحو قاع البركة.

الطاقة الحرارية من البركة الشمسية تستخدم لتشغيل المحرك الحرارى بدوره رانكن (Rankine cycle) . الماء الساخن عند مستوى قاع البركة يتم ضخة إلى المنجر حيث سائل التشغيل العضوى يتم تبخيره شكل (7/10). يتدفق البخار تحت الضغط العالى نحو التربين حيث يتمدد خلال عجلة التربين والمولد الكهربى المتصل بها. الأبخرة عندئذ تتحرك نحو المكثف حيث الماء البارد من برج التبريد يكثف البخار ثانياً إلى سائل. يتم ضخ السائل ثانياً إلى المبخر حيث يتم تكرار الدورة.

بركة شمسية بمساحة 2000 متر مربع مزودة بمحرك 20 كيلوات تم بناءها فى استراليا.



شكل (7/10) مخطط لمحطة طاقة كهربية بالبركة الشمسية

أنواع البرك الشمسية:

البرك الشمسية لها أنواع مختلفة مثل البرك الشمسية الضحلة، البرك الشمسية القسمه، البرك الشمسية ذات للزوجة الثابتة، والبرك الشمسية ذات الغشاء الطبقى والبركة الشمسية المشبعة.

1- البرك الشمسية الضحلة:

البركة الشمسية الضحلة هى كتلة من الماء ذات عمق ضحل والتى تعمل لتجميع وتخزين الإشعاع الشمسى. وهى ذات مساحات كبيرة، المجمع منخفض التكلفة حيث يتم التعريض المباشر للماء إلى الأشعة الشمسية ومحاط فى مادة قاعدة عازلة للحرارة وطبقة أو طبقتين من مادة الترجيج (زجاج أو بلاستك). بهدف خفض التكلفة، تستخدم البلمرات من البلاستك حيثما أمكن ذلك بدلاً من المعدن والزجاج. يوجد العديد من التصميمات المتاحة. التصميم المفضل، حيث بطانة البركة السوداء من مادة قوية مثل مطاط البيوتايل (Butyl Rubber)، أو البولى إيثيلين المكلور يتم فردة فوق قاعدة العزل واتصاله مع أعلا الحاجز الخرسانى. يتم عندئذ وضع طبقتين من البلاستك الشفاف فوق البطانة السوداء واتصالها بحافة الحاجز الخرسانى. الفراغ بين البطانة والطبقة السفلى يتم ملؤه بالماء والطبقة العليا يتم ملئها بالهواء (In flated) باستخدام نافخ صغير.

فى تصميم آخر والذى يوصى به للاستخدامات الضخمة يتم تصنيع كيس بلاستك من طبقتين حيث القاع أسود والقمة رائقة. ويرتكز على وسادة عزل ويملأ بالماء. فوق قمة الكيس البلاستك المقوس يوجد طبقات بلاستك متعرجة فى شكل شبه المصبعة

مؤمنة على طول أطراف الحاجز وكذلك فوق القمة بواسطة شرائط من الصلب منحنية إلى أسفل حيث تطابقات الطبقات. العديد من مثل برك الأحواض الضحله هذه يمكن توصيله معاً ويمكن ضخ المياه الساخنة منهم وتخزينها فى خزان حفظ ضخم لخفض الفقد الحرارى خلال الليل وحالات المناخ السئ. يمكن الحصول على درجة حرارة فى المجال من 50 - 75°م والتى يمكن استخدامها كمصدر للحرارة فى العمليات الصناعية أو فى توليد الطاقة الكهربية باستخدام سائل (مائع) آخر مثل الفريون الذى يمكنه تشغيل التربين المتصل بالمولد الكهربى.

2- البرك الشمسية المقسمة : (Partioned solar ponds)

فى البركة الشمسية المقسمة يتم فصل منطقة الحمل الحرارى السفلية ومنطقة غير الحمل الحرارى بواسطة جزء شفاف وتظل عملية التشغيل نفسها كما فى حالة البركة الشمسية التقليدية ذات التدرج الملحى. فكرة البركة الشمسية المقسمة تمت بمعرفة (rable and Nielson)، بحيث أن منطقة الحمل الحرارى السفلية يمكن استخدامها للتخزين الموسمى للحرارة للتدفئة المنزلية. الجزء يساعد كذلك فى استمرار ثبات البركة ويمكن استخلاص الحرارة من منطقة الحمل الحرارى السفلية بدون اضطراب لمنطقة عدم الحمل الحرارى. عموماً، استخدام غشاء مرن يوصى به ولكن فى هذه الحالة فإن الحمل الكلى على القطوع (Partition) يجب أن يكون صغيراً لمنع حدوث التلف والتمزق. والذى يعنى أنه إما كثافة الطبقة السفلى يجب أن تكون بحيث أن منقطة الحمل الحرارى تحتمل طبقة غير ذات الحمل الحرارى أى (Non Convective)، أو أن منطقة الحمل الحرارى يجب إعطائها ضغط حرارى لموازنة قوى الجاذبية على القطوع. فى الحالة الأخيرة يمكن استخدام الماء العذب فى منطقة الحمل الحرارى وبذا التخلص من مشاكل التآكل المصاحبة لاستخلاص الطاقة من المياه عالية الملوحة. فى البركة الشمسية المقسمة، الغشاء يسمح باستخدام ملح أقل كثيراً لأن محتوى الملح يتناسب مع مربع العمق. ولكن فى هذه الحالة فإن الغشاء يلزم تثبيته فى حوائط البركة بلجام محكم ضد التسرب. لقد لوحظ أن درجة الحرارة فى منطقة الحمل الحرارى تنخفض مع زيادة سمك طبقة الحمل الحرارى، ولكن متوسط درجة الحرارة لا يعتمد على السمك. كذلك يتم استنتاج من التجارب أن كفاءة البركة الشمسية المقسمة تكون أعلا من البركة الشمسية التقليدية غير ذات الحمل الحرارى. أفضل كفاءة بنسبة 37%، 26.9% يتم الحصول عليها عند درجة حرارة جمع 50°م، 100°م على التوالى.

3- البرك الشمسية ذات اللزوجة الثابتة: Viscosity stabilized solar ponds

فى البركة الشمسية ذات اللزوجة الثابتة يستخدم نوع من الهلام (Gel) فى الماء، بما يجعله غير موصل للحرارة بالحمل الحرارى (Non - Convective). فكرة البركة

الشمسية ذات اللزوجة الثابتة كانت بواسطة (Shafer) وتم وصف الظـاهرة كراكـدة (Static) بخلاف المستقرة (Stable). من المعـروف أن رقـم ريلـيخ (Ray/eigh Number) المرتبط بقوى الطفو ومقاومة اللزوجة (Viscous Drag) يكون مسئولاً عن التدوير وقيمته الحدية فى مستهل الحمل الحرارى الطبيعى لطبقة سائل مقيـدة القمـة والقاع، وساخنة من القاع هو 17.7. رقم ريليخ يعطى الأتى:

$$Ra = \frac{8B\Delta Td^3}{Va}$$

حيث :

B = معامل تمدد الملح

ΔT = فرق درجة الحرارة بين طبقتين من السائل

D = المسافة بين طبقتين.

V = اللزوجة الحركية للسائل

a = معامل تسرب وانتشار الملح

g = ثابت الجاذبية

من المعادلة السابقة يلاحظ أنه بزيادة اللزوجة فإن رقم يليخ يمكـن خفـضه دون الرقم الخدى وبذا إيقاف حدوث الحمل الحرارى الطبيعى. لقد ظهر أنه حتـى المـادة البسيطة بالصمغ المذاب يمكنه إنتاج محلول (syrups) ذات لزوجة فى المجـال مـن 36.3 إلى 36.3 $\times 10^3$ كجرام/المتر× الثانية المناسب للبركة فى العمل بدون الحمـل الحرارى. المواد المناسبة للبرك ذات اللزوجة الثابتة يجب أن يكون لها قـدرة انتقـال عالية للإشعاع الشمسى، كفاءة التكثيف العالية تكون قادرة على الأداء عنـد درجـات حرارة حتى 70^oم. البلمرات الطبيعية مثل الصمغ العربى والنشا والجيلاتين تعتبر كذلك مواد مفيدة.

كلا من البلمرات المخلقـة مثـل Poly acrylamide, Poly acrylic acid (salts) بوليمر Carboxy vinyl، بلمرات Ethylene oxide .. الخ والبلمرات شـبه المخلقـة (Semi - synthetic) مثـل (Carboxy Methyl cellulose)، Methyl cellulose, Hydroxy ethyl cellulose ..الخ يمكن استخدامهم كذلك لتثبيت واسـتقرار البركـة. العديد من بلمرات الهلام (جيل) المتقاطعة، هلام المنظـف / الزيـت/ المـاء يمكـن تحضيره كذلك والذى يمكن كذلك أن يكون مناسبا للاستخدام فى البرك. لقـد أوصـى (Shaffer) باستخدام البوليمر التجارى (Carboxy vinyl) كمكثف والـذى وجـد أنـه

مستقر حتى عن 70^oم ومع المثبت المناسب أظهر خواص ضوئية كيماوية بارزة. فكرة البركة الشمسية ذات اللزوجة الثابتة يبدو أنها واعدة ولكن تتطلب دراسات فى العمق وحالياً ليست منافسة اقتصادية مع البرك الشمسية ذات التدرج الملحى.

4- البرك الشمسية ذات الغشاء الفاصل بدون ملح :

Membrane stratified saltless solar ponds:

البديل الممكن للبركة الشمسية التقليدية بالتدرج الملحى هو البرك الشمسية ذات الغشاء الفاصل. هذه الفكرة يبد أنها أخذت من مجمعات السطح المستوى حيث يستخدم عش نحل العسل الشفاف لإحباط الحمل لحرارى الطبيعى. فى البركة الشمسية التقليدية بالتدرج الملحى توجد ثلاث مناطق وهم منطقة الحمل الحرارى العلوى، منطقة عدم الحمل الحرارى، ومنطقة الحمل الحرارى السفلى (Lower convection zone)، بينما فى البركة الشمسية ذات الغشاء الفاصل توجد منطقتين فقط، وهما المنطقة العلوية ذات عدم الحمل الحرارى (عند القمة تعمل طبقة عزل) ومنطقة الحمل الحرارى السفلية عند القاع (تعمل كطبقة تخزين حرارى). الفرق الأساسى بين النوعين هى فى آلية استمرار عدم الحمل الحرارى فى منطقة عدم الحمل الحرارى. فى البركة الشمسية ذات الغشاء الفاصل، تتم إعاقة الحمل الحرارى باستخدام أغشية شفافة فى منطقة عدم الحمل الحرارى ذات فاصل بين كل منها صغير بما يكفى لإحباط الحمل الحرارى. مميزات قليلة للبركة الشمسية ذات الفاصل الغشائى كالآتى:

1- نظراً لعدم استخدام ملح فى هذه البركة، فإن هذه البركة يمكن أن تكون سهلة الصيانة بتكلفة قليلة.

2- لا توجد مخاطر هيدرولوجية أو بيئية بالنسبة لبركة الغشاء ذات الفاصل بدون ملح.

3- لا توجد منطقة حمل حرارى علوية فى هذا النوع ولذا تقوم بنفس الكفاءة الزائدة عند المقارنة للبركة الشمسية ذات التدرج الملحى.

4- يمكن استمرار عمق أكبر لمنطقة الحمل الحرارى السفلى فى بركة الفاصل الغشائى بما ينتج عنه تخزين موسمى، وقلة التغير اليومى فى درجة الحرارة وزيادة كفاءة التجميع.

يقترح ثلاث أنوع من الأغشية وهى:

1) الأغشية الأفقية.

2) الأنابيب الرأسية.

3) الأغشية الرأسية

استخدام غشاء كثيف أفقى عند قمة البركة للحماية من الغبار والأتربة ولمنع التعفن التلف البصرى للأغشية. فإنه يقترح أن يكون التيفلون (Teflon) مادة الغشاء المناسبة بسبب عمرها الطويل فى الاستخدام، وكذلك شفافيتها العالية ولكونها خاملة لكل الكيماويات تقريباً، ولكونها كذلك متاحة تجارياً فى كل الأحجام والسمك..الخ. بخلاف الماء كسائل فى بركة الغشاء الشمسية، فإن سوائل أخرى مثل محلول السكر المركز، الإيثانول، ومجموع الماء والإيثانول تلك المواد مقترحة كسوائل.

5- البرك الشمسية المشبعة: (Saturated solar ponds)

البرك الشمسية المشبعة هى كتل الماء غير ذات الحمل الحرارى، والتى تعتمد على التدرج فى الكثافة الناتج عن الإذابة التفاضلية للملح مع درجة الحرارة. فى البركة الشمسية المشبعة التدرج الطبيعى فى درجة الحرارة ما بين القمة والقاع يكون استمرار التدرج فى الكثافة من خلال إندفاع ونزوج الأيونات (Inon mIgration). فى مثل هذه البركة يستخدم الملح الذى تزداد إذابته سريعاً مع درجة الحرارة. ماء البركة يظل مشبعاً بمثل هذا الملح عند كل المستويات ونظراً لأن البركة تكون أسخن فى القاع عن القمة، فإنه تتم إذابة ملح أكثر عند القاع. فى مثل هذه البركة، يتم الانتشار الرأسى للملح وتدرج الكثافة يكون مستقراً بما يجعل صيانة البكرة غير مقيد. عموماً الأملاح الموصى بها فى البركة الشمسية المشبعة هى (Na_2SO_4) , ($MgCl_2$) والبوراكس Na_2SO_4 أظهر زيادة فى الكثافة مع درجة الحرارة حتى التحول عند 30.3^{o}م عند هذه النقطة تبدأ كثافة المحلول فى الانخفاض مع زيادة درجة الحرارة والذى أظهر أن (Na_2SO_4) ليس مقبولاً كملح تشغيل. كلا من ($MgCl_2$) والبوراكس هما أملاح التى تكون بركة شمسية ذات تشبع مستقر.

استخدام البرك الشمسية:

بسبب التخزين الكبير للحرارة والتغيرات اليومية المهملة فى درجة حرارة البركة، البركة الشمسية لها العديد من الاستخدامات مثل التدفئة والتبريد للمبانى، حمام السباحة، تدفئة البيوت الزجاجية (الصوبة)، تسخين العمليات الصناعية، وإنتاج وقود سائل متجدد مثل الإيثانول. بعض الاستخدامات كالآتى:

أ- تدفئة وتبريد المبانى :

بسبب طاقة التخزين الكبيرة للحرارة فى منطقة الحمل الحرارى السفلية للبركة الشمسية. فإن لها استخدام مثالى للتدفئة حتى عند أى محطات بعيدة عن خط الاستواء ولعدة أيام ذات سحب شديد وغيوم. كثيراً من العلماء حاولوا وقدروا البركة الشمسية لحمل تدفئة معين مطلوب للتدفئة المنزلية. أظهرت الحسابات أن البركة الشمسية ذات

قطر 100 متر وعمق واحد متر فإن منطقة الحمل الحرارى السفلية تكون كافية لتشغيل إما نظام امتصاص أو مبرد قادر على توفير 100% من حمل التبريد لمجتمع مـــن 50 منزل. حتى فى المبنى ذو الدور الواحد فإنه يمكن تسخينه اقتصادياً بالبركة الشمـــسية حيث فى هذه الحالة تكون البركة الشمسية مساوية إلى مساحة أرضية المنزل.

ب- إنتاج الطاقة :

يمكن استخدام البركة الشمسية لتوليد الكهرباء بتشغيل تجهيزه كهربية حراريـــة أو محرك دورة رانكن – التربين الذى يعمل بتبخير ســـائل عـــضوى ذو نقطـــة غليـــان منخفضة. مفهوم البركةالشمسية لإنتاج الطاقة يوفر أمل كبير لتلك المـــساحات حيـــث توجد قوة إشماس عالية وأرض كافية أو ظروف التربة تسمح بإنشاء وتشغيل مـــساحة كبيرة من البركة الشمسية للازمة لتوليد كمية كبيرة من الطاقـــة الكهربيـــة. حتـــى أن السخونة ذات درجة الحرارة المنخفضة التى يتم الحصول عليها من البركة الشمـــسية يمكن تحويلها إلى طاقة كهربية. كفاءة التحويل تكون محدودة بسبب انخفـــاض درجـــة حرارة التشغيل ($70 - 100^{o}$م). بسبب انخفاض درجة الحرارة فـــإن محطـــة الطاقـــة بالبركة الشمسية تتطلب سوائل تشغيل عضوية (مثل الفريونات)، أو الهيـــدروكربونات (مثل البروبين) نموذج لمحطة طاقة البركة الشمسية موضح فى الشكل (7/10).

جـــ- إزالة الملوحة : (Desalination)

الطاقة الحرارية منخفضة التكاليف يمكن استخدامها فى إزالة الملوحـــة أو تنقيـــة المياه للتسرب وللرى.

وحدات إزالة الملوحة متعددة الوميض (Multi flash Desalination Units) مـــع البركة الشمسية هو مقترح جذاب لإنتاج مياه مقطرة لأن محطة إزالة الملوحة متعـــددة الوميض تعمل عند درجة حرارة أقل من 100^{o}م والتى يمكن الحصول عليها بـــسهولة بواسطة البركة الشمسية. هذا النظام يكون مناسباً فى الأماكن حيث عدم وفرة الإمـــداد بمياه الشرب مع وفرة المياه الخمضاء (Brakish). لقد قـــدر أن حـــوالى 4700 متـــر مكعب فى اليوم من المياه المقطرة يمكن الحصول عليه من بركة ذات مـــساحة 0.31 كيلو متر مربع باستخدام وحدة تقطير متعددة التأثير (Multi effect).

الفصـل الحـادى عشر

التسخين الشمسى للماء

Solar water Heating

مقدمة :

التسخين الشمسى للماء هو الاستخدام المباشر للطاقة الشمسية الذى تم استخدامه كثيراً فى العقود الماضية. وهو الأكثر قابلية للتطبيق من بين كل استخدامات الطاقة الشمسية عند درجة الحرارة المنخفضة، ومن المحتمل أن يصبح الاستخدام الأول لطاقة الشمسية فى المستقبل القريب نظراً لأن الاستثمارات الأولية صغيرة وأن النظام يتم استخدامه خلال العام (فى الدول النامية). معامل الاستخدام العالى ينتج معامل حمل أكبر مقارنة بنظام التسخين الشمسى. مكونات التسخين الشمسى للماء متاحة تجارياً. استخدام الطاقة الشمسية لتسخين الماء فى كثير من الاعتبارات تشبه إلى حد ما لاستخدامها للتدفئة المنزلية. ولكن، توجد اعتبارات التى تحيل التسخين الشمسى للماء أفضل فى مجال الاستثمار مقارنة بالتدفئة المنزلية وهما الاعتبارات المالية والجهد. من ناحية فإن الطلب على الماء الساخن مستمر تقريباً خلال العام، لذلك فإن المجمع والأجزاء الأخرى من السخان الشمسى سوف تعمل لمدة طويلة لإنتاج الوفر فى الوقود الذى سيتم إنفاقه فى التكلفة الأولية العالية لنظام الطاقة الشمسية. على الجانب الآخر فإن نظام التدفئة المنزلية بالطاقة الشمسية يعمل بكامل طاقته خلال الأشهر الباردة من فصل الشتاء.

كذلك يمكن أن يكون حجم سخان الماء الشمسى ليتطابق مع الطلب بدقة كبيرة. رغم أن نظم التسخين تتعامل مع الأحمال العالية لمدة أيام قليلة فقط من العام، فإنه يجب أن تكون كبيرة لتلبية تلك الاحتياجات. نظام التسخين الشمسى للماء على الجانب الآخر سيكون له تقريباً نفس الحمل اليومى فى أى يوم خارج، باستثناء الاستخدامات الغير عادية، حمل التصميم (أقصى حمل متوقع) يكون قريباً من الحمل اليومى العادى.

المشكلة المرتبطة بكل أنواع التسخين الشمسى هى الطبيعة المتغيرة لإشراق الشمس (Sun shine) سخان الماء الشمسى، رغم هذا، له ميزة إضافية مقارنة لنظم التدفئة المنزلية الشمسية ذلك لأن متطلبات الماء الساخن تكون أقل قوة عن تلك للتدفئة. لمتطلبات الماء الساخن المستمر نسبيا، الحل العادى هو توفير سخان تكميلى.

سخانات الماء الشمسية تعتبر عادية جداً فى أستراليا، إسرائيل، اليابان، وفى فلوريدا وفى جنوب كاليفورنيا.

أنواع سخانات الماء الشمسية :

العناصر الأساسية لسخانات الماء الشمسية هى:

1- الجامع الشمسى بالسطح المستوى (Flat plate collector)

2- خزان حفظ.

3- نظام تدوير ونظام تسخين إضافى.

4- إحكام للنظام.

قبل وصف نظام تسخين الماء لمتطلبات كبيرة من الماء الساخن، سيتم تناول سخانات الماء البسيطة (المنزلية) والتى هى:

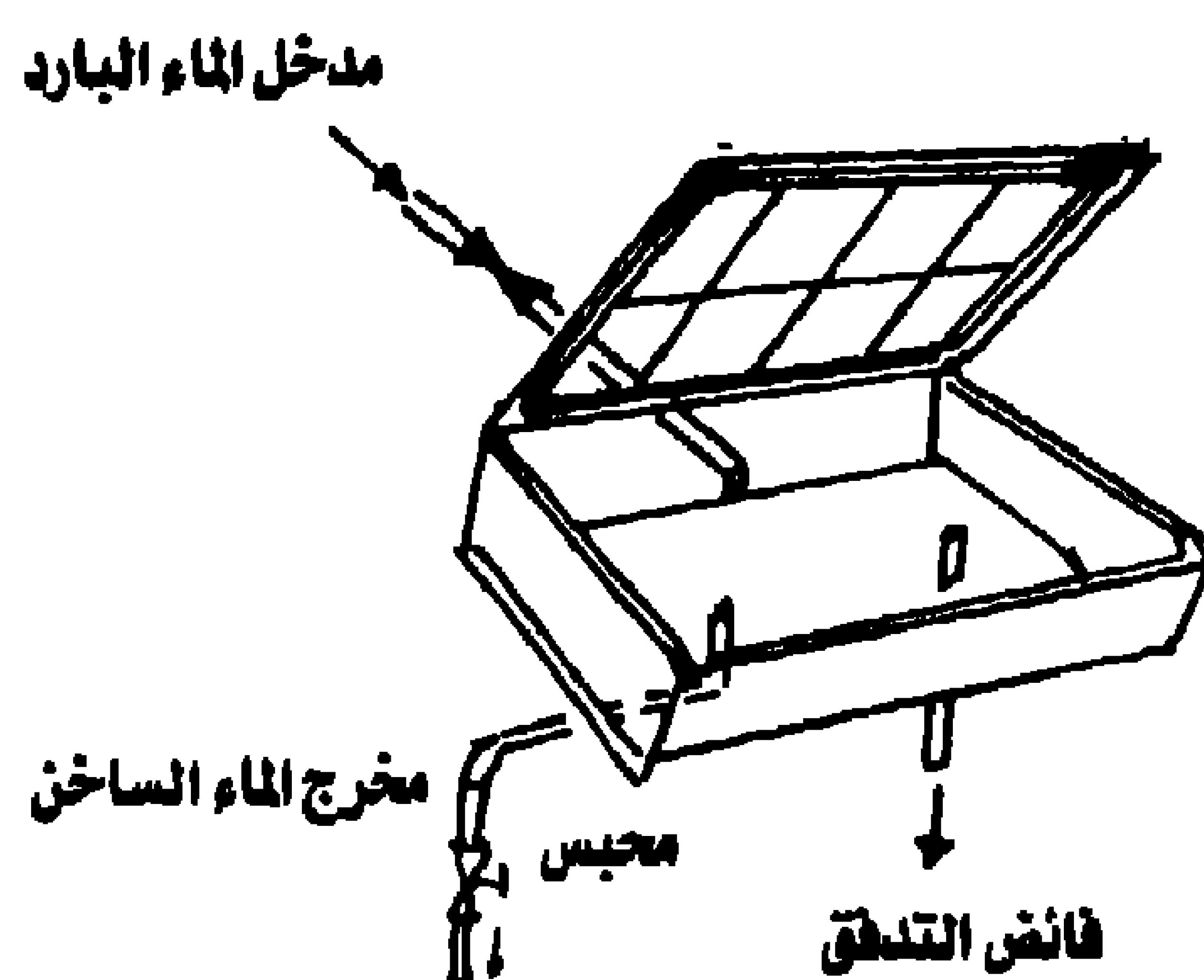
1- بالخرطوم الأسود من المطاط وسخانات الماء الشمسية.
2- الحوض الضحل للماء.
3- سخان الماء الشمسى اليابانى بالكيس البلاستك.
4- سخان الماء الشمسى من نوع الحوض.
5- سخان الماء الشمسى بالأنبوب اليابانى.

1- الخرطوم الأسود المطاط كسخان شمسى:

واحد من أبسط سخانات الماء الشمسية هو خرطوم المطاط الأسود يبقى فى الشمس باستمرار. بضبط معدل التدفق خلال الخرطوم، فإنه يمكن الحصول على تدفق منتظم من الماء الساخن. الماء الساخن يمكن تخزينه فى خزان حفظ معزول أو غير معزول، باستخدام سخان إضافى أو بدون.

2- الحوض الضحل للماء:

الحوض الضحل للماء يتكون من حوض ضحل وله غطاء شفاف يبقى فى الشمس شكل (1/11).



شكل (1/11) حوض ماء ضحل

3- سخان الماء الشمسى اليابانى بالكيس البلاستك شكل (2/11).

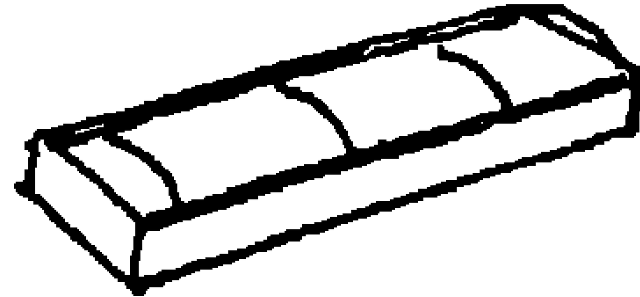


الشكل (2/11) كيس ماء بلاستك

وهذا يتم وضعها على رصيف مستوى. البعض له عاكسات أسفله لانعكاس الطاقة الإضافية حتى جانب القاع.

4- نوع الحوض:

توجد أنواع مختلفة للنوع (3) عبارة عن صندوق خشبى بسيط مجهز بمسطح من البلاستك متصل بالداخل لحجز الماء (انظر الشكل 3/11).



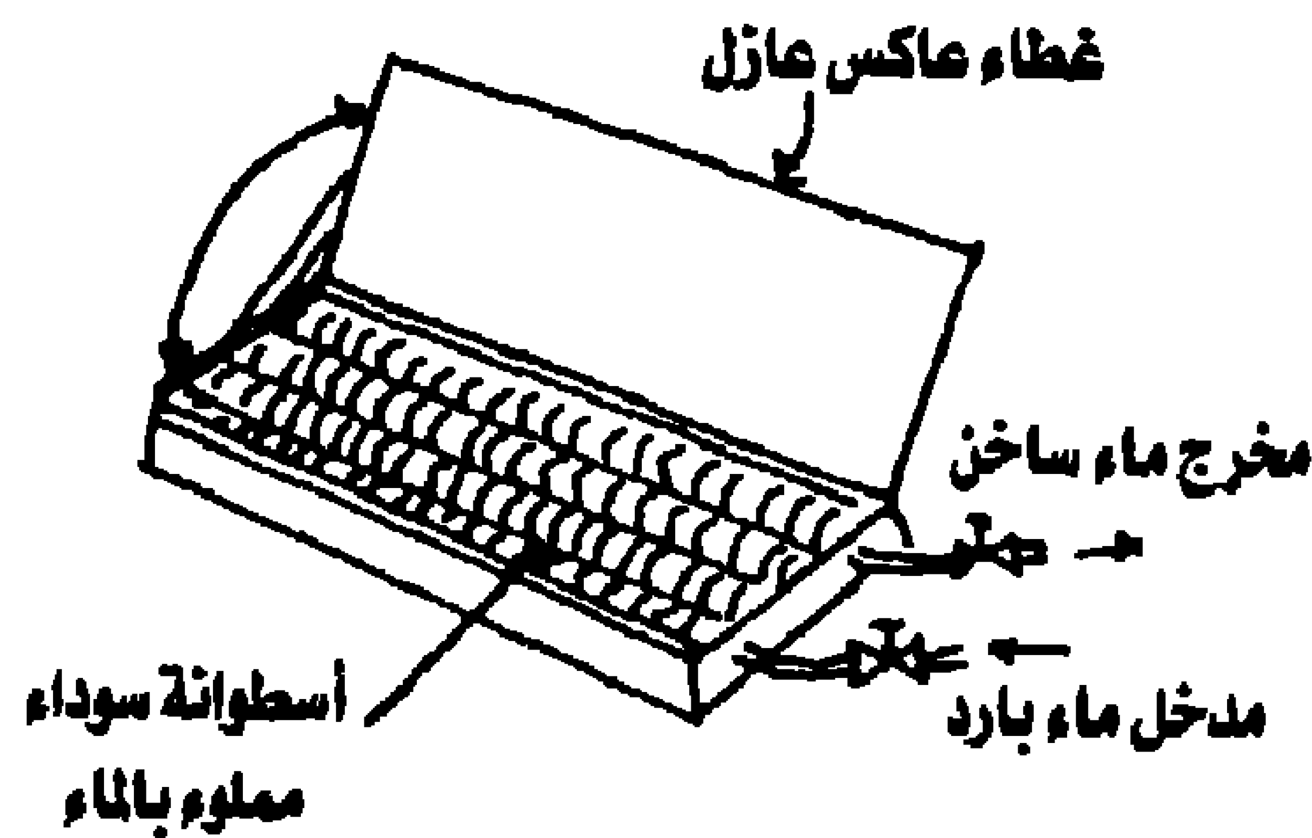
شكل (3/11) صندوق خشبى مغلف بالبلاستيك

السخان لا يتطلب غطاء شفاف، ولكنه يكون أكثر كفاءة إذا كان له مثل هـذا. فى تلك السخانات، فإن المجمع الشمسى والخزان الشمسى هما واحد.

العيب الرئيسى لسخان الحوض المستوى (Flat - Basin) هو أنـه يجـب أن يكونوا أفقيا. فى المناطق الاستوائية حيث الشمس عند ذروتها فوق الرأس كل العـام، هذه السلبية صغيرة، ولكن فى حالة البعد عن خط الاستواء حيث الشمس تكـون أقـل إشعاعاً فى السماء، فإن المجمع الأفقى يصبح أقل كفاءة، جزئياً بسبب الكثير من الطاقة الذى يتم انعكاسه من المجمع. فى الشتاء عندما تكون شدة الشمس ضعيفة، فإن الكفاءة يزداد انخفاضها. ميزة نوع الحوض المستوى هو أن عمق الماء يتغير بسهولة.

5- سخانات المياه الشمسية بالأنبوب اليابانى الشكل (4/11)

Japanese Pipe solar water Heater:

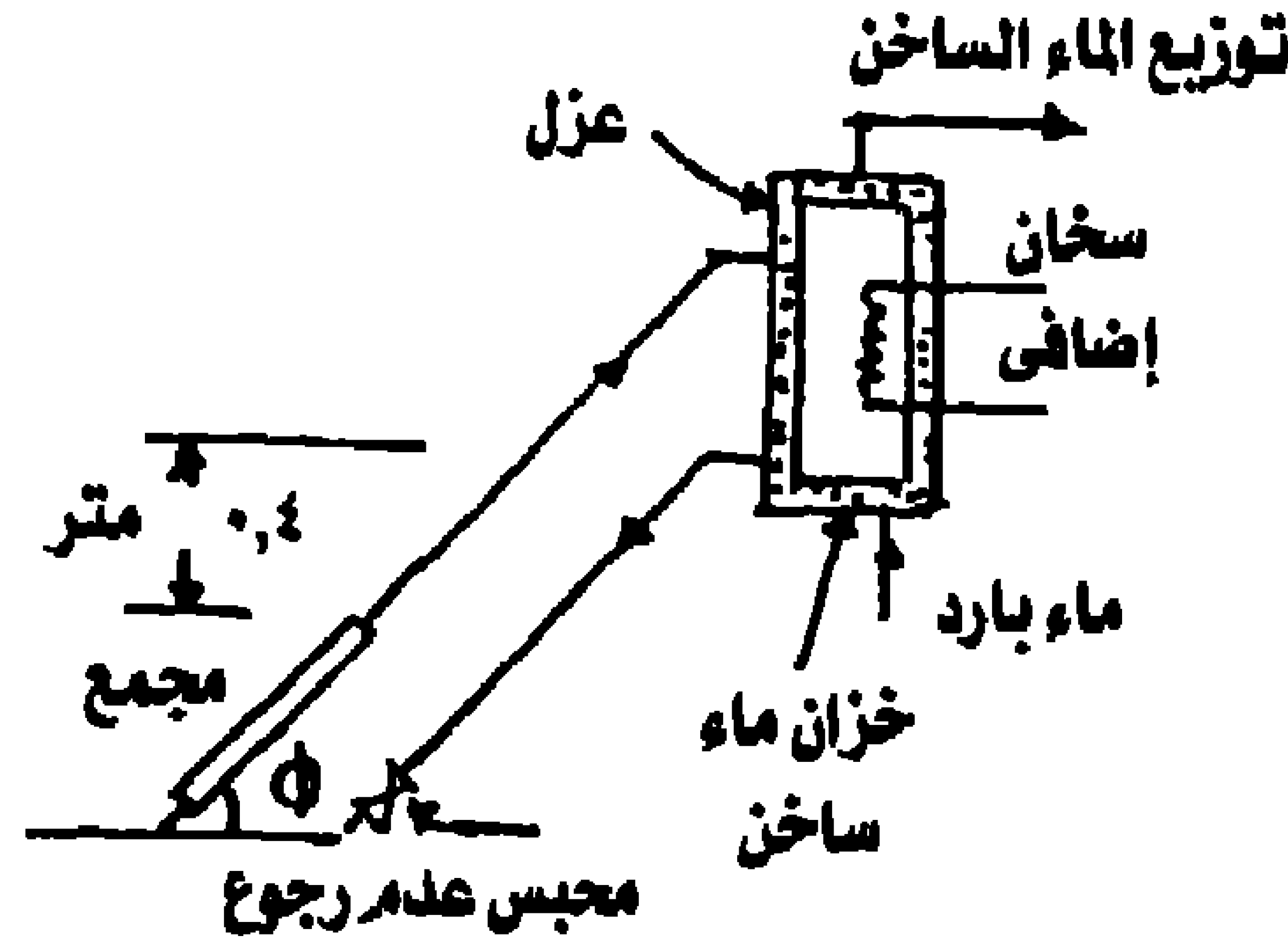


الشكل (4/11)سخان الماء الشمسى اليابانى الأنبوبية

النموذج اليابانى هو باستخدام سخانات المياه والتى هى مواسـير مـن الزجـاج، الصلب المقاوم أو البلاستك المطلى بالأسود.

بعض التصميمات التجارية النموذجية لسخانات الماء الشمسية هو:

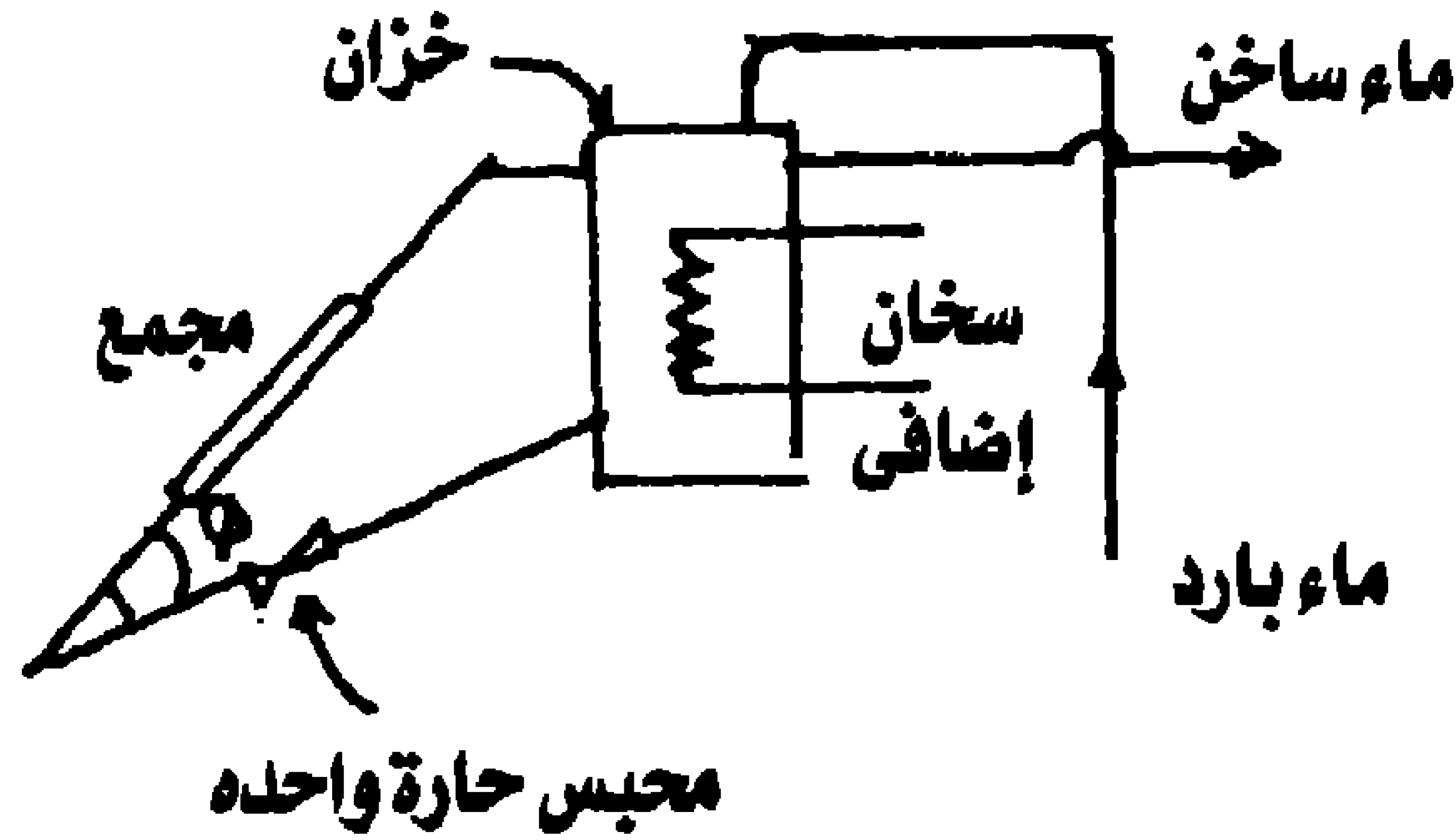
1- نظام التدوير الطبيعى لسخان الماء الشمسى (المضغوط)



شكل (5/11) مخطط للتدوير الطبيعى لسخان الماء الشمسى
مع إضافة طاقة مكملة لخزان الضغط

هذا النظام مكون من المجمع المائل (Tilted collector)، المزود بـألواح تغطيـة شفافة، حوض تخزين ماء عالى العزل منفصل، ومواسير جيدة العزل لتوصيل الاثنين. قاع حوض التخزين يكون على الأقل أعلا من قمة المجمع بواحدة قدم (0.4متر)، ولا تكون هناك حاجة لطاقة إضافية لتدوير الماء خلاله. التدوير يحـدث خـلال الحمـل الحـرارى الطبيعـى (Natural Convection)، أو الـسيفون الحـرارى (Thermo syphonig). عند تسخين الماء الذى فى المجمع الشمسى بواسطة الشمس، فإنه يتمـدد (ويصبح أقل كثافة) ويرتفع إلى أعلا المجمع، خلال الماسورة ونحـو قمـة حـوض التخزين. هذا يدفع الماء البارد عند قاع الحوض إلى أنبوب آخر المـؤدى إلـى قـاع المجمع الشمسى. هذا الماء، بالتالى يتم تسخينه ويرتفع إلى أعلا فـى الحـوض. مـع استمرار سطوع الشمس فإن الماء يتم تدويره سريعاً، حيث يسخن. بعد غروب الشمس، يمكن لنظام السيفون الحرارى أن يعكس اتجاه التدفق، حيث قمة سخان الماص تكون لا يقل عن واحد قدم (0.4متر) أسفل الطرف البارد الموصل بحوض التخزين، كما هـو موضح. لتوفير الحرارى خلال فترة الغيوم الطويلة، يمكن استخدام سخان غمر كهربى لمساندة النظام الشمسى. يتم استخدام سائل غير قابل للتجمد فى دائرة المجمع الشمسى. نظام السيفون الحرارى هو واحد من أقل نظم تسخين الماء تكلفة ويتم استخدامه كلمـا أمكن ذلك.

2- سخان الماء الشمسى بالتدوير الطبيعى (بدون ضغط) (الشكل 6/11)

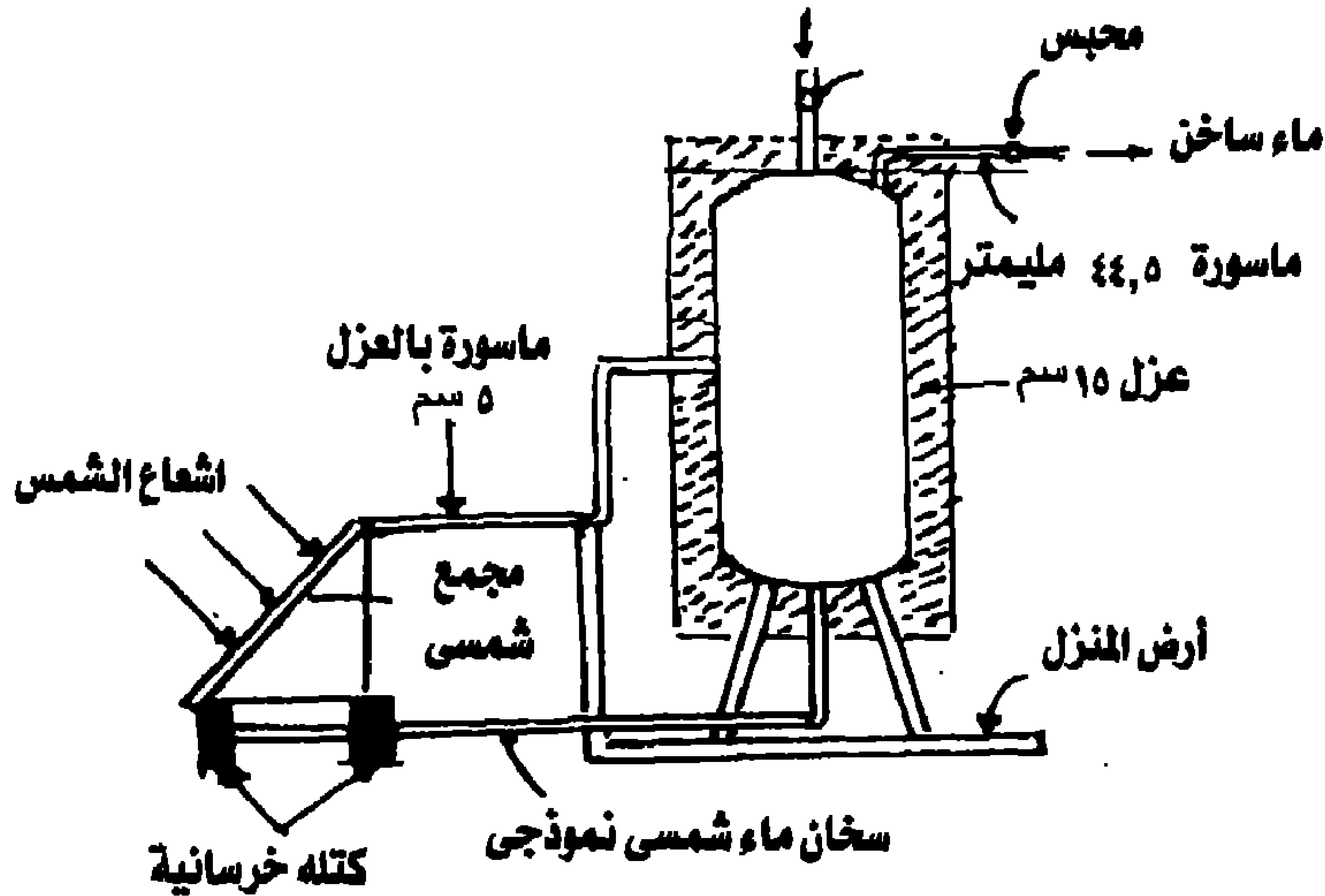


شكل (6/11a) سخان ماء شمسى بدون ضغط

النظام بالضغط يمكنه إمداد الماء الساخن فى الأماكن فوق حوض التخزين. هـذا ينتج عنه اجهادات كبيرة على قنوات الماء فى المجمع الشمسى والذى يجب تـصميمه طبقاً لذلك. النظم الغير مضغوطة لإمداد المـاء الـساخن بالتـدفق بالجاذبيـة فقـط للمستخدمين عند مستوى منخفض عن الحوض. إذا كان المطلوب ماء ساخن مضغوط (لاستخدام الدش، الأدوات) فإن الفرق فى الارتفاع يجب أن يكون كبيراً لتحقيـق تلـك المتطلبات. إذا كان فرق الارتفاع لا يمكن تحقيقه، فإن الحل الوحيد هو بإقامة مـضخة منفصلة وخزان ضغط (Pressure tank).

الإجهادات خلال نظام عدم الانضغاط تكون أقل والذى يسمح بإنشاء أسهل وأقـل تكلفة.

نموذج للسخان الشمسى للماء بالتفصيلات موضح فى الشكل (6/11b)

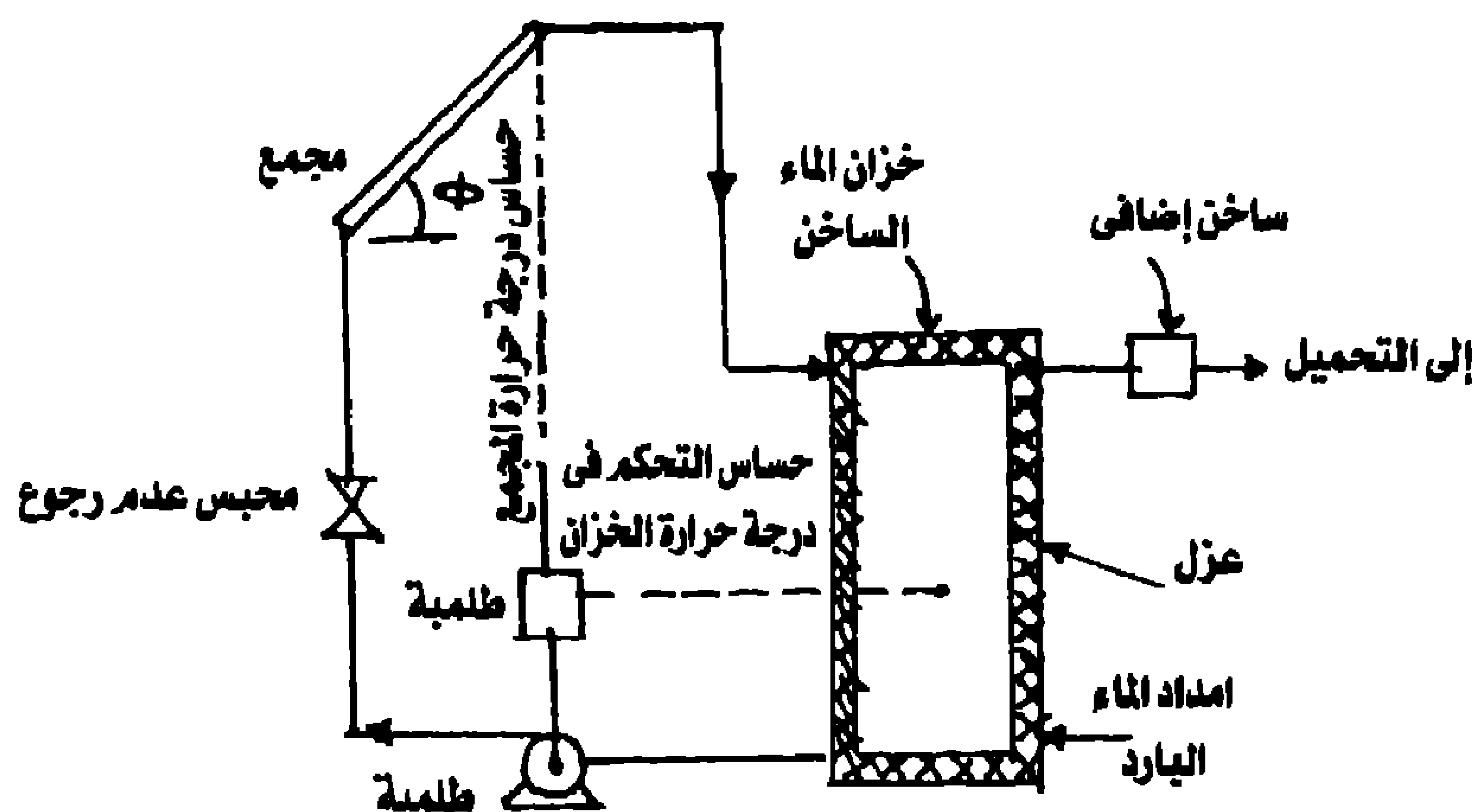


شكل (6/11b) سخان ماء شمس نموذج

3- سخان الماء الشمسى بالتدوير عنوه:

Forced circulation of solar water Heater

الشكل (7/11) يبين مخطط لمثال نظام التدوير عنوة.



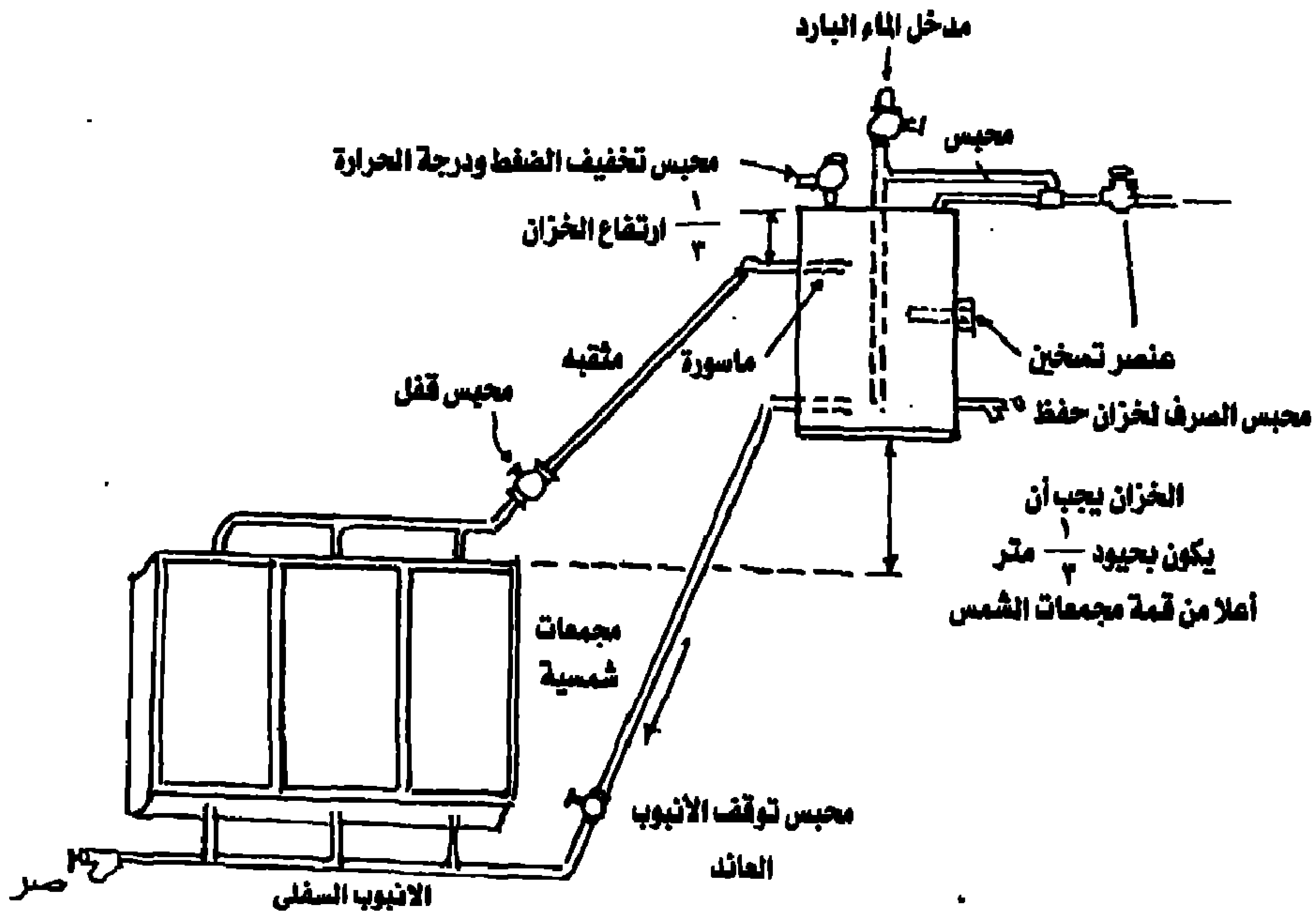
شكل (7/11) مخطط السخان الماء الشمسى بالتدوير عنوه مع إضافة مصدر على الخط نحو التحميل

هنا ليست هناك متطلبات لمكان الخزان فوق المجمع الشمسى. المكونات الإضافية سوف تتضمن طلمبة، محرك، نظام تحكم فى الطلمبة (المثبت) الآلــى لفــرق درجــة الحرارة بين الخزان والمجمع الشمــسى (Differential Thermostat) محــبس عــدم رجوع يلزم توفيره لمنع حدوث الدوران العكسى والفقد الحرارى ناتج فترة الليل مــن المجمع. فى هذا المثال، السخان الإضافى موضح حيث يوفر للماء الذى يترك الخزان ويتوجه نحو الحمل.

وصف سخانات الماء الشمسية وتفاصيل إقامتها:

فى سخان الماء الشمسى بالسيفون الحــرارى (Thermo syphon solar water heater) يحدث التدوير الطبيعى خلال التغيرات فى الكثافة للمــاء بــسبب الحــرارة الممتصة من الإشعاع الشمسى. الماء الذى تسخينه بحرارة الشمس يرتفع إلى حــوض التخزين المعزول، والماء الآخر الأبرد من الخزان يتدفق بالحمل الحــرارى الطبيعــى (Natural Convection) إلى الجزء السفلى من المجمع الشمسى (أنظر إلــى الــشكل 5/11). لهذا النوع من التسخين الشمسى، يعتبر ارتفاع حوض التخــزين فــوق قمــة المجمع الشمسى من معايير التصميم الهامة. فى حالة النظام الصغير، يكــون الخــزان حوالى 0.6 متر فوق المخرج من المجمع الشمسى (المجال هو حوالى 0.4 متر إلــى 0.6 متر). هذا النوع من السخانات الشمسية أصبح محبباً جداً فى الــشرق الأوســط،

أفريقيا، أسيا، أستراليا، ومساحات أخرى من العالم حيث درجة الحـــرارة لا تـنخفض كثيراً إلى أقل من درجة حرارة التجمد فى الشتاء. عموماً لا تستخدم سـخانات المـاء الشمسية بنظام السيفون الحرارى (Thermosyphon) فى الأجواء حيث درجات حرارة الشتاء تكون أقل من نقطة التجمد. حيث تكرار التجمد والإذابة (الإسـالة) للمـاء فـى أنابيب المجمع الشمسى يمكن أن تنتج الحرارة لأجواء التجمد بتوفير تسخين بالمقاومـة الكهربية فى المجمع خلال المناخ البارد أو استخدام ماصات التى يمكنها التكيـف مـع التجمد فى الأنابيب. الشكل (8/11) يوضح المكونات لكل السخان الشمـسى المباشـر للماء بالسيفون الحرارى باستخدام ثلاث نماذج من المجمعات الشمسية، حيث المحابس والوصلات الموضحة كما يمكن أن تظهر فى النظام.



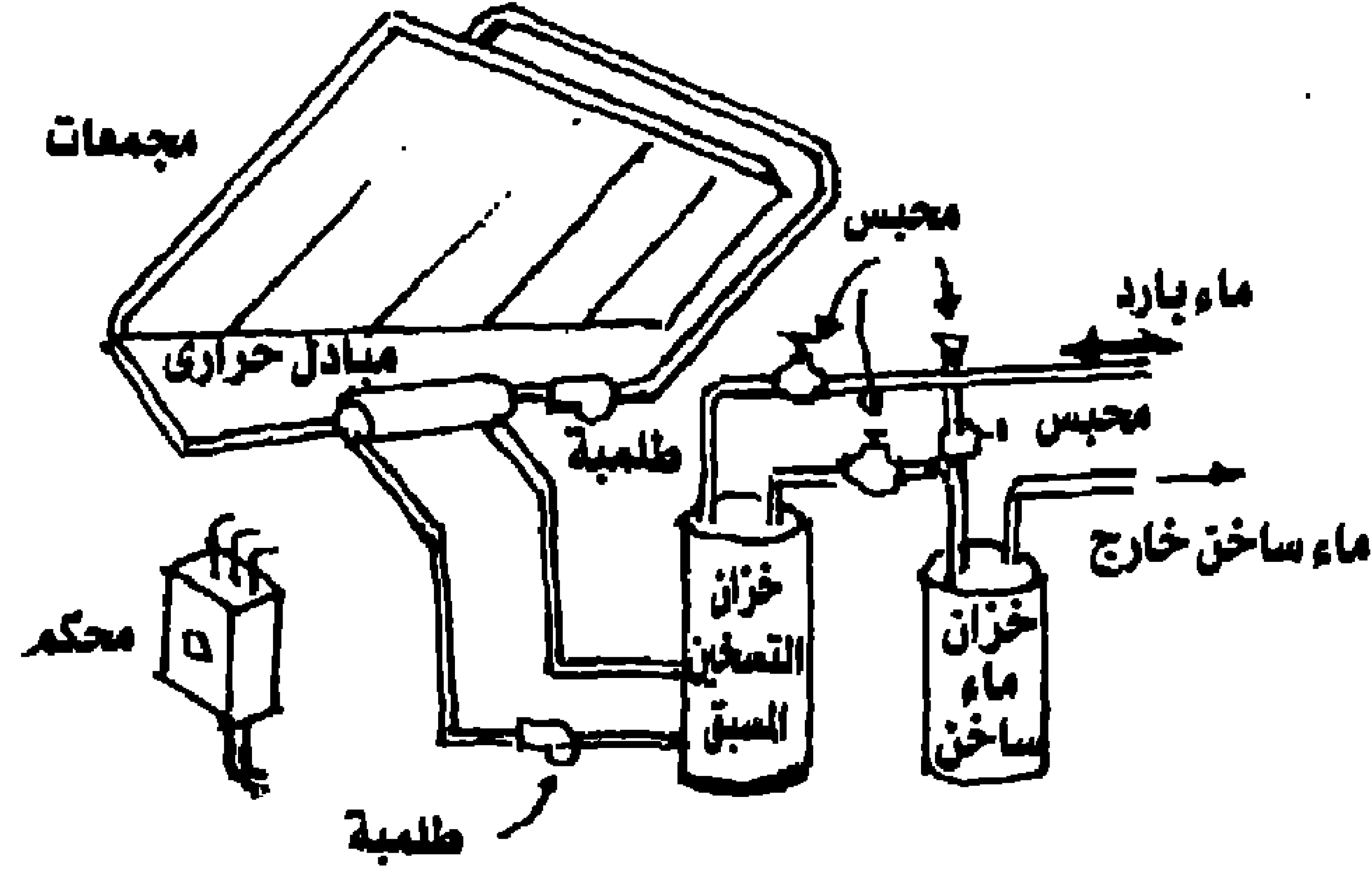
شكل (8/11) تفاصيل انشاء سخان الماء الشمسى بالسيفون الحرارى

(The Insulation Is left off the hot water piping and storage tank for clarity).

المحابس اليدوية على مجمعات المواسير (Headers) العلويـة والـسفلية تـسمح للمجمعات الشمسية ليتم الصرف منها بدون الاضطرار إلى تفريغ الخـزان. محـبس الصرف يكون ضرورياً لصرف المجمعات. محبس القفل للماء البارد على قمة حوض التخزين ومحبس الصرف عند القاع يكون مطلوباً لصرف الخزان (الحوض). محـبس الخلط يكون مطلوباً للأمان لمنع استقبال مياه الترسيبات (Scaling water)، وعمومـاً

لتأكيد أن درجة حرارة الاستقبال لا تزيد عن بعض المحبس المضبوط مسبقاً (Preset valve). درجة الحرارة ومحبس تصريف الضغط من المتطلبات القياسية للكودات القياسية، وتعمل للحماية ضد ضغوط البخار الزائدة للنظام. يمكن إزالة الهواء من النظام بالفتح اليدوى لهذا المحبس. مجمع المواسير من النحاس يكون مائلاً إلى أعلا كما هو موضح لمنع حبس الهواء.

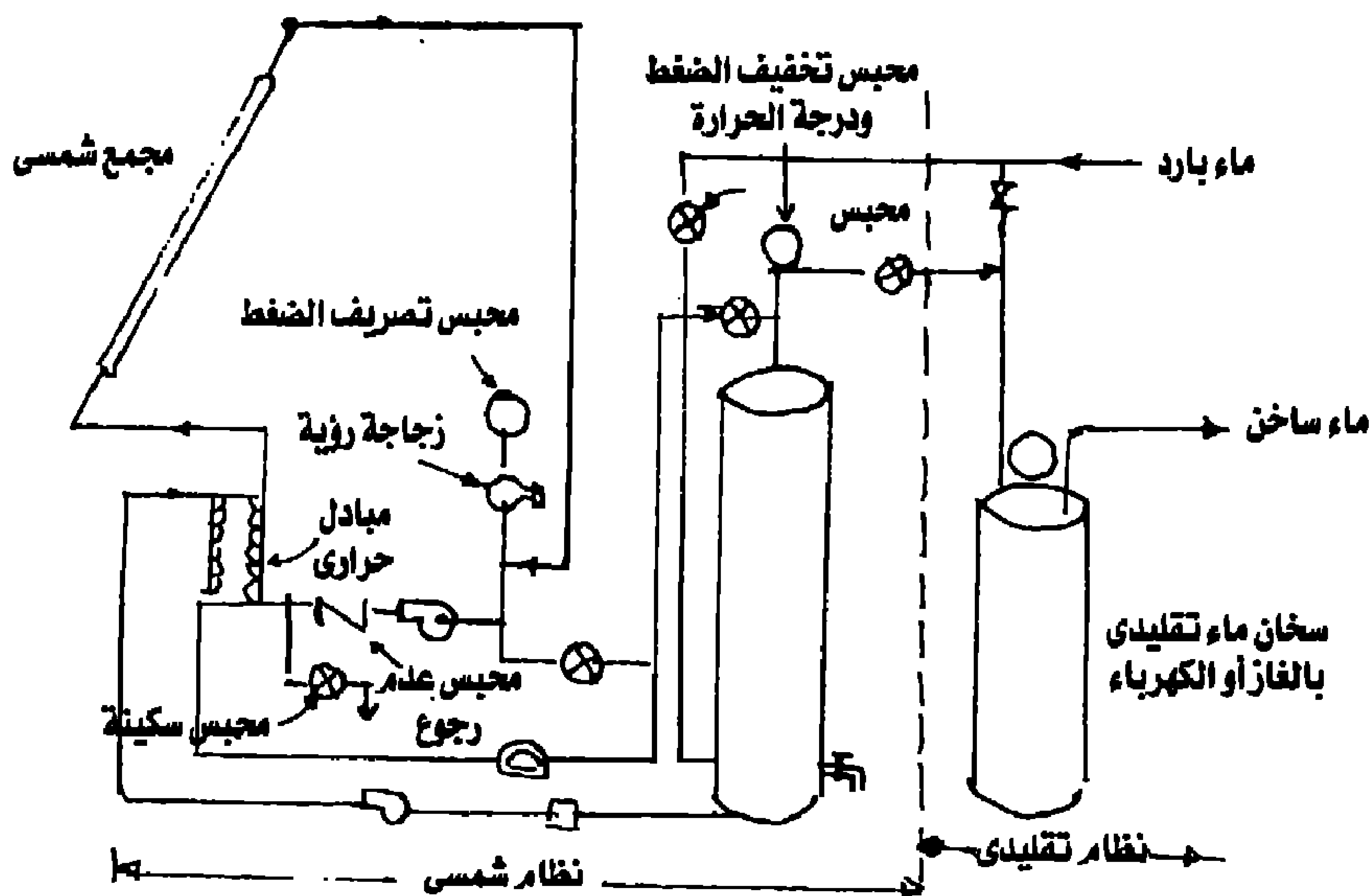
الشكل (9/11) هو النوع العادى لنظام تسخين الماء الشمسى.



شكل (9/11) نموذج لسخان الماء الشمسى

فى هذا النوع تستخدم طلمبة لتدوير المائع الغير متجمد خلال المجمعات الشمسية والمبادل الحرارى. الماء فى خزان التسخين المسبق يتم تدويره خلال المبادل الحرارى وبالخلف نحو الخزان (الحوض). الماء الذى تم تسخينه بحرارة الشمس من الخزان السابق تسخينه يتدفق عندئذ نحو خزان الماء الساخن التقليدى، حيث يتم تسخينه بالكهرباء أو بالوقود الحفرى إلى درجة الحرارة المطلوبة. إذا كانت درجة حرارة الماء من خزان التسخين المسبق (Preheat tank) تزيد عن درجة الحرارة المحددة لجهاز ضبط الحرارة (Thermostat) لخزان الماء الساخن التقليدى، فإن مصدر الطاقة الإضافية لا يتم استخدامه ويتم تسخين الماء باستخدام الطاقة الشمسية فقط. هذا النوع من النظم أكثر حداثة وأكثر تكلفة مقارنة بنظام السيفون الحرارى (Thermosyphon) الذى يحوى مائعاً ينقل الحرارة بالحمل الحرارى. ولكن يمكن استخدامه فى مناخ ولا يتطلب أن يتم وضع خزان الماء الساخن هذا عند ارتفاع أعلا من مصفوفة الجامع الشمسى.

الشكل(10/11) يوضح دلالة المخطط للنظام الموضح فى الشمل (9/11).



شكل (10/11) المخطط الاساسى لنظام سخان الماء الشمسى الموضح فى الشكل (9/11)

طلمبة التدوير الرئيسية (P1) يتم إحكامها باستخدام ثيرموستات التفاضلى التقليدى (Convential Differential)، الذى له حساس (Sensor) يوضع على مخرج المجمع الشمسى وحساس آخر عند قاع حوض تخزين مياه الساخن بالشمس. عندما يكون الماء عند قمة المجمعات الشمسية أكثر سخونة عن الماء عند قاع حوض التخزين، فإن الثيرموستات التفاضلى يتحول نحو الطلمبات (P1) , (P2) والطلمبة (P1) تدور المياه من قاع خزان التخزين الحرارى خلال المبادل الحرارى وبالخلف إلى قمة حوض (خزان) التخزين، الطلمبة (P2) تدور الموائع التى لا تتجمد خلال المبادل الحرارى والمجمعات الشمسية. حوض التمدد يكون ضرورياً فى حلقة المجمع الشمسى، نظراً لأن تلك الحلقة تكون مقفلة، وأن التمدد والانكماش للمائع يجب أن يتواءم مع التغيرات فى درجة حرارته. زجاجة الملاحظة النظرية المتصلة بحوض التمدد تمكن من تعيين كمية المائع المتبقى من حلقة المجمع. هذا هام جداً، حيث أن التسرب من حلقة المجمع (Collector loop) يمكن أن يقلل أداء النظام. محابس تصريف الضغط تكون مطلوبة فى المجمع وفى حلقات ماء الشرب الساخن (أو أحد خزانات حفظ الماء الساخن بالطاقة الشمسية) لتمكين البخار من الخروج عند درجات الحرارة العالية. حالة واحدة التى يمكن أن تسبب حيود لدرجة الحرارة والتى تكون انقطاع الطاقة الكهربية فى اليوم المشمس، بما ينتج عنه ارتفاع درجات حرارة للمجمع الضغوط العالية فى حلقة التبريد الأولية، وكذلك مع زيادة ضغط البخار، فى حوض تخزين مياه التسخين الشمسى. محابس تصريف الحرارة والضغط على خزانات الماء الساخن هى من المتطلبات

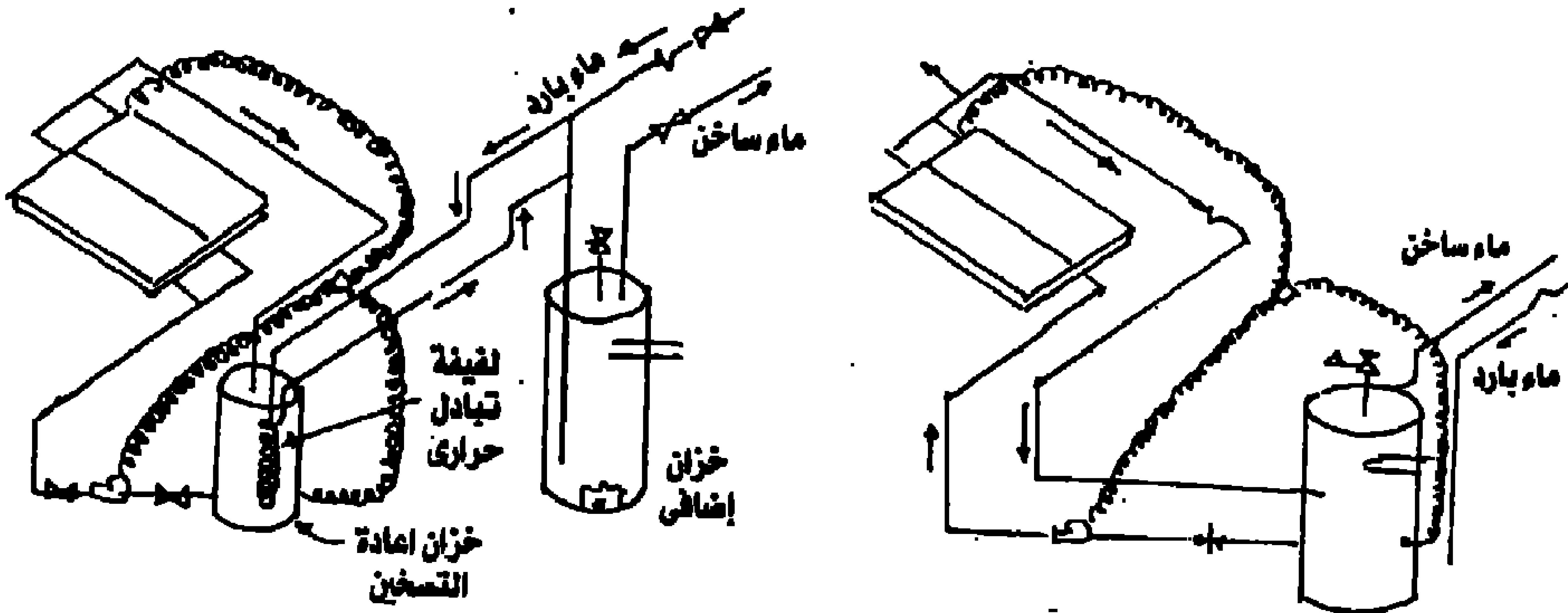
العادية لكود المبنى. فى إنشاء منظومة المجمع يجب أن يكون هناك على أى حال غلاف محكم (Tight Enclosure) حول أطراف مصفوفة المجمع. هذا يكون (1) لتوفير الحماية لمواسير الإمداد والعودة ومنشأ التحميل للمجمعات (2) لتحسين المظهر للمصفوفة. إذا كان ميل السقف لا يحيد كثيراً من التوجيه المطلوب للمجمع الشمسى، فإن الغلاف يمكن توصيله مباشرة بغلاف السقف. فى مثل هذه الإنشاءات فإنه يجب إنشاء حشوة معدنية (Flashing) (التغطية أو وقاية بعض الزوايا فى المنشأ وخاصة حيث يتصل السقف بحائط) حول مصفوفة المجمع لمنع التسرب. كل مواسير المياه الساخنة ما بين حوض تخزين الماء الساخن والمبادل الحرارى وما بين المبادل الحرارى والمجمعات الشمسية يجب أن يتم عزلها جيداً. بالإضافة، فإن الماء الذى تم تسخينه بالحرارة الشمسية وخزانات الماء الساخن التقلدية يجب عزلها جيداً.

يستخدم عادة مواسير النحاس فى المجمعات الشمسية، حيث أن النحاس يستطيع أن يتحمل حالات درجة الحرارة والضغط المتوقعة وكذلك يقاوم التآكل لحام الوصلات يتم توصيله باستخدام سبيكة لحام (Solder) مثل سبيكة (القصدير 95%، الفضة 5%). يتم استخدام شريط التيفلون ومعجون تيفلون الماسورة (Teflon) على كل الوصلات المقلوظة، وتكون جلب الوصل المرنة (Flexible coupling) حيثما كان الدوران الحرارى يمكن أن يسبب تسرب. الطلمبات يجب أن تجهز بمحبس سكينة كامل التدفق (Full flow gate valve)، موضوعاً عند المدخل والمخرج ليسمح لطلمبة التدوير بإمكان استعادتها أو إصلاحها بدون الحاجة لصرف كل النظام.

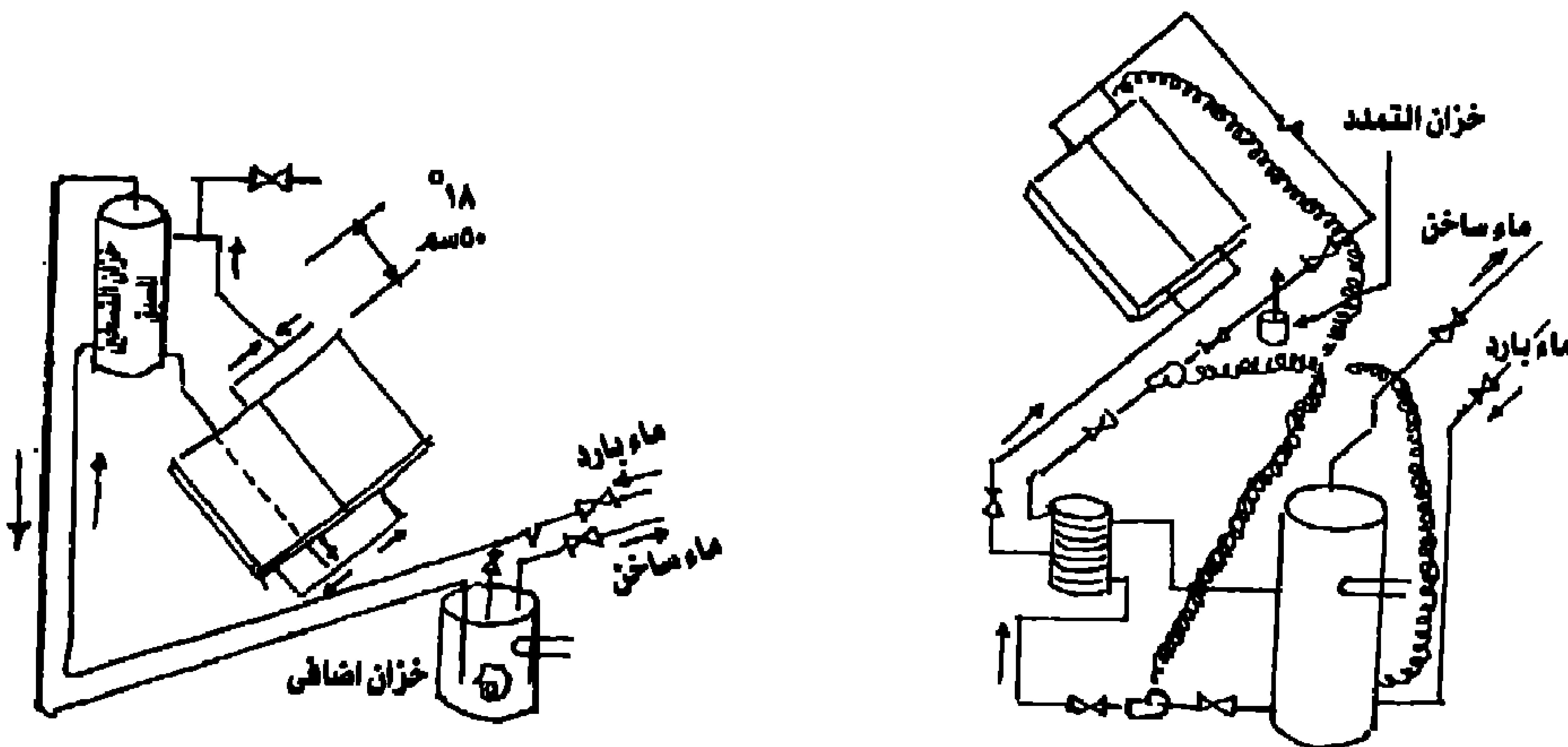
نظم الماء الساخن المنزلى تتطب مبادل حرارى ذو جدار مزدوج إذا كان المائع الذى لا يتجمد فى حلقة المجمع الأولى سام. مثال للموائع السامة هو إيثيلين جليكول، زيت السيليكون المقاوم للتجمد. المبادل الحرارى مزدوج الجدار، يقلل من أداء النظام مقارنة بالمبادل الحرارى ذات الجدار الواحد. المبادل الحرارى يجب إنشاؤه فى مساحة معزولة أو ساخنة الغير معرضة إلى درجات حرارة التجمد. استخدمت المبادلات الحرارية ذات الجدار الواحد بمحلول (Propylene glycol solution)، فى حلقة التدوير الأولية نظراً لأن البولى بروبيلين جليكول غير سام. بينما أن مادة الإيثيلين جليكول (Ethylene glycol) شديدة السمية، إلا أن البروبيلين جليكول يستخدم عادة كإضافات غذائية. مهما كان السائل المستخدم فإن المنشأ يجب أن يحقق متطلبات الكود. نظم المياه الساخنة الشمسية تنقسم إلى إما المباشرة أو الغير مباشرة أو النشطة أو الغير نشطة. سخانات الماء الساخن الشمسية الغير نشطة (Passive) تتضمن النوع السيفون الحرارى (Thermosyphon)، وأشكال بسيطة مثل الخزان على السقف، الذى يسخن الماء بدون استخدام طلمبات، محابس تعمل بالكهرباء، نظم تحكم اليكترونية.

النظم النشطة تستخدم الطلمبات لتدوير المـائع خـلال المجمعـات الشمـسية ويستخدم تجهيزات تحكم إليكترونية لتشغيل الطلمبة، تتقـسم الأنظمـة النـشطة إلـى المباشرة أو الغير مباشرة. فى نظم تسخين المياه المباشرة فإن ماء التسرب يتم تدويره مباشرة خلال المجمعات الشمسية ثم إلى حوض التخزين، مثل هذه الـنظم لا تـستخدم المبادل الحرارى. النظم الغير مباشرة لها مبادل حرارى بين حلقة المجمع وحلقة مـاء الشرب مع المائع المقاوم للتجمد الذى يدور خلال المجمعات. مثل هذه النظم تـستخدم محاليل الإيثيلين جليكول، محاليل بروبيلين جليكول، هيدروكاربون، زيوت سيليكون أو الهواء كمائع أولى لانتقال الحرارة ليدور خلال المجمعات والمبادل الحرارى. الـنظم الغير مباشرة عادية إلى حد كبير فى الأجواء حيث يحتمل حدوث التجمد نظراً لوجـود حماية ضد التجمد.

الشكل (11/11) يوضح مخطط لنظم المياه المنزلية الساخنة المستخدمة عادة.



شكل (11/11a) نظام الخزان المباشر الوحيد   شكل (11/11b) نظام الصرف السفلى



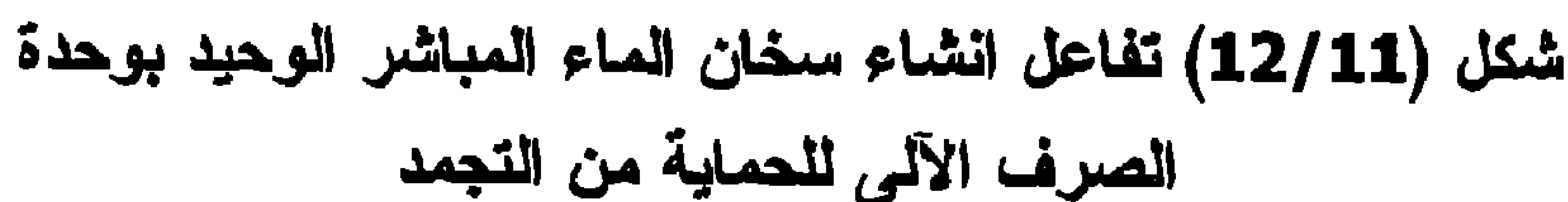
شكل (11/11d) نظام غير مباشر (ضد التجمد)   شكل (11/11c) نظم السيفون الحرارى

شكل (11/11) نظم أربع لتوليد الماء الساخن

النظامين الأولين (أ، ب) تدير المياه خلال مصفوفة المجمع الشمسى وخزان الحفظ بدون مبادل حرارى فى الوسط، الصرف النشط إلى أسفل يستخدم لحماية المجمعات من التلف بسبب التجمد.

نظام الصرف السفلى النشط يستخدم محابس تعمل بالكهرباء وتجهز تحكم كهربى الذى سوف يصرف الماء من المجمع فى حالة حدوث حالات تجمد. النظم الموضحة فى الشكل (جـ، د) تستخدم محلول مضاد للتجمد لنقل الطاقة المجمعة من المجمعات الشمسية إلى التخزين خلال المبادل الحرارى. تلك النظم الأربع تنشأ عادة لنظم المياه الساخنة.

الشكل (12/11) يوضح منشأ التسخين الشمسى للماء بطريقة الخزان الفردى المباشر (Direct single tank) المزود بنظام الحماية من التجمد بالصرف السفلى. فتحة تصريف الهواء توضع عند أعلا نقطة على مجمع المواسير العلوى (Upper Header) ليسمح للهواء بالخروج عند بدء تشغيل النظام، وكذلك يسمح بخروج البخار والغازات الأخرى وذلك عند تشغيل النظام. محبس التحرر من الحرارة والضغط يكون من متطلبات معظم أكواد السباكة ويقوم بالفتح لخروج وتحرير إما السائل أو البخار وذلك فى حالة زيادة الضغط، حبس تصريف الهواء يصرف فقط البخار أو الغازات الأخرى. المحابس القمرية (Selenoid Valves) هى جزء من نظام الحماية من التجمد، فى حالة اضطراب الطاقة، المحبس القمرى الذى يكون عادة مفتوحاً يقفل، ومع محبس عدم الرجوع التالى للترمومتر يقوم بعزل (Seals off) الخزان من باقى النظام، بينما المحبسين المقفولين عادة يكونوا مفتوحين للسماح للهواء بالدخول ولصرف المياه من مصفوفة المجمع الشمسى. يحدث هذا عندما يكون الحساس (Sensor) عند قاع المجمعات يبين درجات الحرارة القريبة من التجمد، وكذلك عند اضطراب الطاقة الكهربية للنظام لأى سبب. أثناء العمل العادى، عندما تكون درجة حرارة الحساس عند قمة المجمع تزيد عن تلك عند قاع الخزان. يفتح الثيرموستات التفاضلى لإمداد الطاقة الكهربية إلى الثلاث محابس سيلينويد والطلمبة لتدوير ماء الشرب خلال المجمع، عدا فى حالة ضعف الطلمبة بواسطة نظام الحماية من الحرارة الزائدة. هذا النوع من الإنشاء قد يستخدم إما واحد أو أثنين من الخزانات.



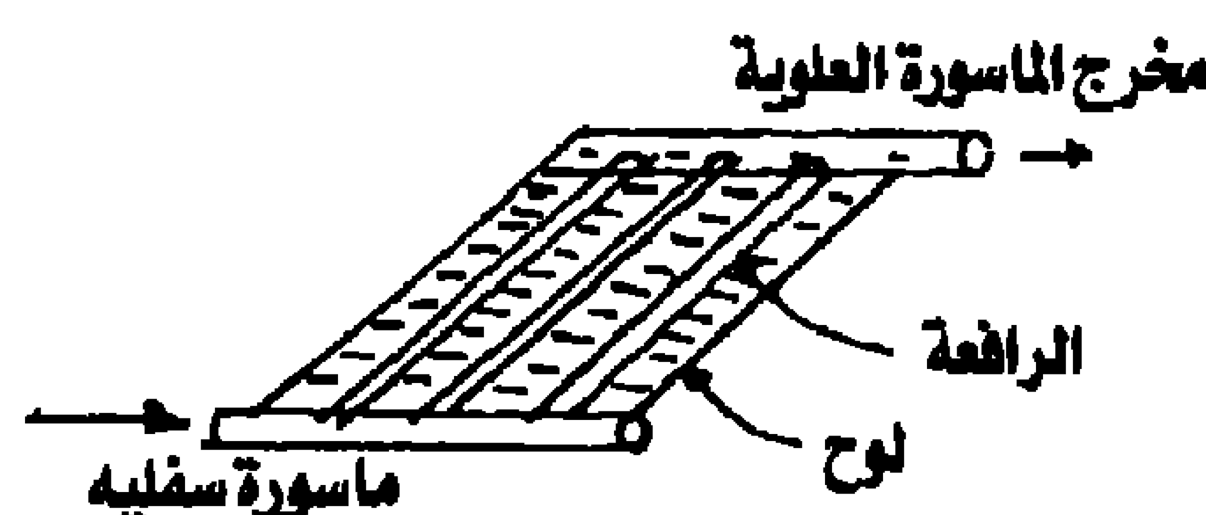
شكل (12/11) تفاعل انشاء سخان الماء المباشر الوحيد بوحدة الصرف الآلى للحماية من التجمد

الشكل (13/11) يوضح نظام تسخين الخزان الغير مباشرة المبادل الحرارى يجب أن يكون له حائط مزدوج فى حالة استخدام مائع سام فـــى حلقـــة المجمـــع الشمـــسى (Collector loop). توضع محابس السكينة أو محابس البوابة (Gatevalve) على كـــل المواسير المؤدية إلى المبادل الحرارى لتسمح بعزل وصرف المبادل الحرارى للتفتيش، والنظافة، والصيانة والإصلاح. بالمثل توضع محابس البوابة على كلا جانبى الطلمبات لإمكان سحب الطلمبة بدون صرف كل النظام. حوض التمدد ضرورى لاحتواء التمدد.



شكل (13/11) تفاصيل الانشاء سخان الماء الشمسى الغير مباشر بخزانين

التمدد الحرارى وانكماش مائع الانتقال الحرارى فى حلقة المجمع الشمسى المقفلة. تجويف الهواء ومحابس التنفيس (Vent) تزيل الهواء، البخار والغازات الأخرى من حلقة المجمع الشمسى. محابس عدم الرجوع عند مدخل الماء البارد يكون مطلوبا طبقاً لمعظم أكواد السباكة بسبب استخدام سوائل غير مستخدمة للشرب فى النظام. كلا الطلمبتين يتم تشغيلهم فى توقيت واحد باستخدام الثيرموستات عندما يزيد فرق درجة الحرارة لكلا عنصرى الإحساس (Sensor) عن فرق التشغيل (Turn on Differential)، ويتم توقفهم عند هبوط هذا الفرق إلى أقل من فرق القفل (Shut off differential).

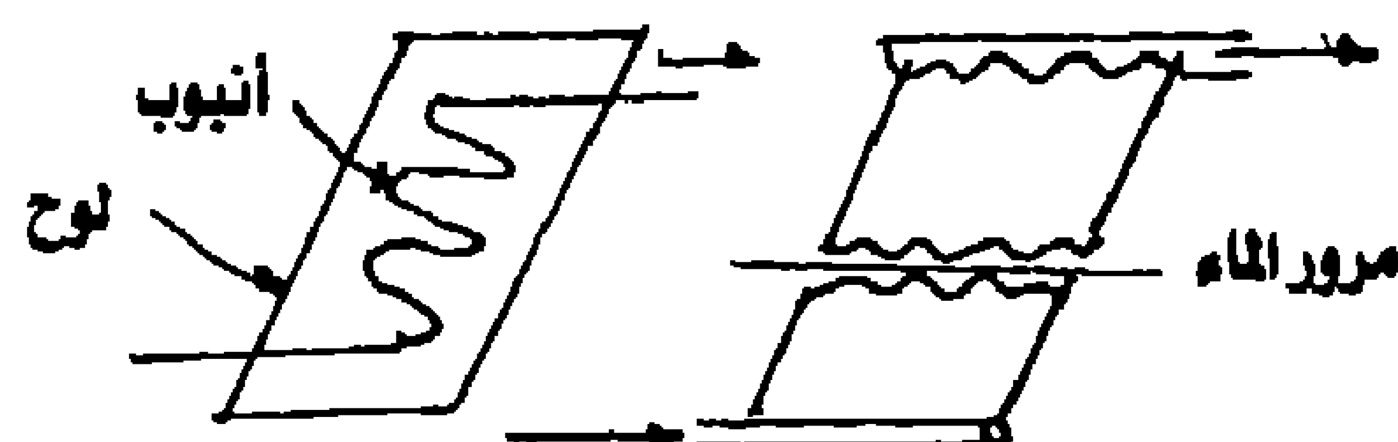


شكل (14/11) مجمع اللوح لسخان الماء الشمسى

المجمعات وخزانات الحفظ : Collectors and storage tanks

تم استخدام العديد من التصميمات المختلفة، كلها عبارة عن صندوق معزول مزود بواحد أو أكثر من الأغطية الشفافة، المحتوى على لوح لامتصاص المعدن المطلى بالطلاء الأسود وبعض الترتيبات لتدوير الماء خلال اللوح.

مجمعات اللوح المستوى المستخدمة عادة موضحة فى الشكل (14/11). الماصات (Absorbers) تستخدم عادة أنابيب متوازية ذات قطر من 1.2إلى 1.5سم عند القمة وعند القاع. الأنابيب تكون ملحومة (Soldered) أو بخلاف ذلك مربوطة حرارياً مع الألواح. نوع آخر له أنبوب طويل مستمر منحنى فى شكل جيبى (Sinusoideal shape) مفضلاً ذلك على الأنابيب المتوازية، والأملاح مكونة من سطح واحد مستوى وسطح متعرج متصلين معا لتكوين ممرات للماء. تلك موضحة فى الشكل (15/11).



شكل (15/11) الواح مجمع سخان الماء التبادلية

يوجد العديد من الاختلافات الإنشائية لكل من هذين لنظم التدوير الأساسية. مهما كانت تفصيلات الإنشاء، فإن الهدف الأساسى لأى ألواح ماصة يتم تصميمها لتوفير

سطح امتصاص أقصى طاقة، أدوات جيدة لانتقال الحرارة سريعاً وبانتظام إلى تدفق الماء، التوزيع المنتظم والمتجانس للماء، ووحدة غير مكلفة مانعة للتسرب ويعتمد عليها. هذا المتطلب الأخير هو أقصى تحدى نظراً لتعرض الوحدة إلى الحالات القصوى من درجة الحرارة، والتمدد والانكماش الحرارى، ضوء الشمس الشديد، التآكل، الضغط واحتمال التجمد.

المادة العادية المستخدمة عادة لألواح الماص هو النحاس، الألومنيوم، والثالث الأقل استخداماً هو الحديد المجلفن.

ألواح جهاز الامتصاص (Absorber plate) يتم تركيبها فى صندوق من الأسبستوس الأسمنتى، مع عزل 10-15 سم خلف اللوح وواحد (وأحياناً اثنين) من الغطاء الزجاجى فوق الألواح، تاركاً حوالى 2.5سم فتحات هواء. أبعاد الجامع الواحد (Single collector) هى 1.2متر × 0.6 متر أو 1.2 متر × 1.2متر، يمكن استخدام أكثر من مجمع واحد فى المنشأ.

لوح الامتصاص يكون مغطى بمادة التى تحفز قدرته على الامتصاص. أبسط وأرخص (وفى كثير من الحالات الأفضل) طلاء أو غطاء هو الطلاء الأسود المستوى. الطلاء المثالى، هو واحد من عدد من المواد تسمى المواد السوداء الانتقائية (Selective Blacks). تلك المواد السوداء لها امتصاص عالى وانبعاثية منخفضة لخفض إشعاع الطاقة. ولكن تقنيات تنفيذ الطلاء ليس سهلاً، خيث تتضمن أحواض حامض، تحليل كهربى (Electrolysis)، أحياناً حتى الترسيب بالتفريغ، تلك هى كذلك تعقيدات إضافية بسبب أن معظم التغطيات التجارية من السهل تلفها بفعل الماء. هذا يعنى أن الصندوق المعزول الذى يحتوى لوح الامتصاص يجب أن يكون مانع للرطوبة ومحكم ضد الهواء والتصاق الغطاء الشفاف يصبح أكثر صعوبة. المواد السوداء الانتقائية سوف تكون أفضل ومتاحة بشك لأفضل مع تبسيط التكنولوجيا بأبحاث التيار وتحسين تقنيات التصنيع. حتى تحقيق ذلك فإن الطلاء الأسود بالبوبة له ميزة سهولة التنفيذ،التحمل ورخص التكلفة.

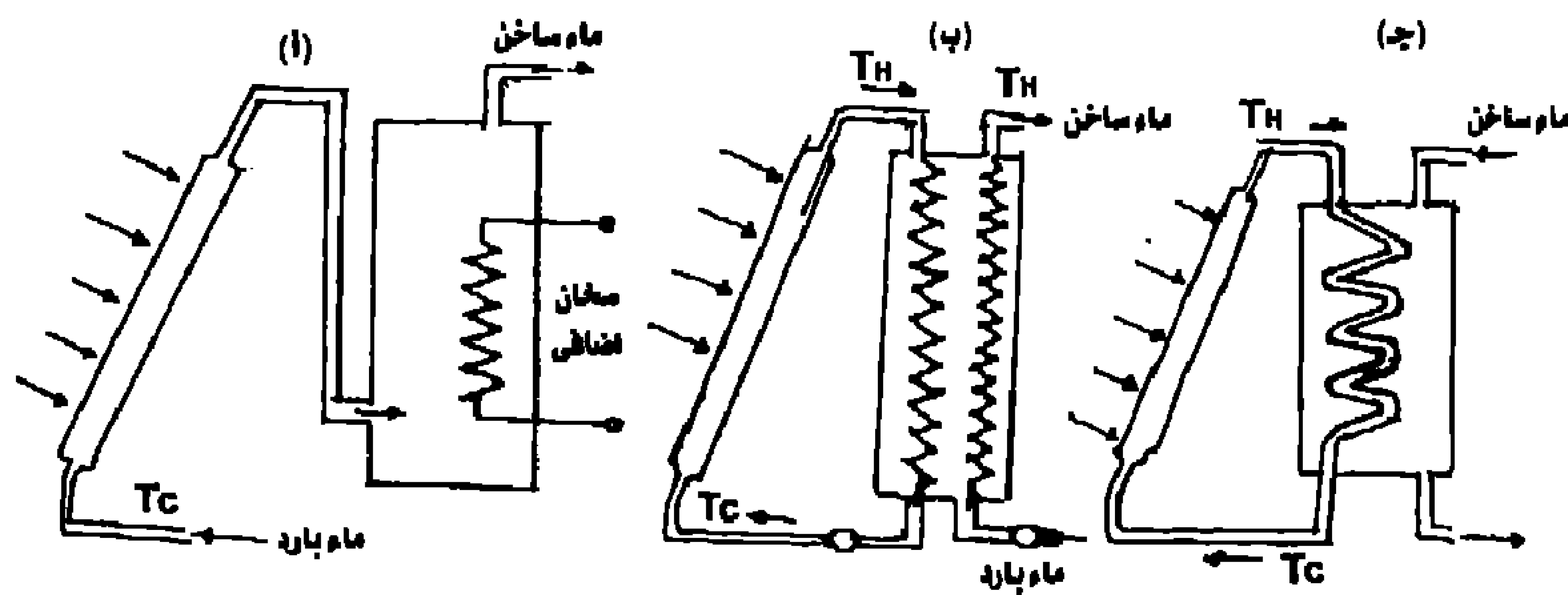
لا توجد مادة هى الأحسن لغطاء الألواح. المادة المستخدمة عادة هى الزجاج، والذى هو متاح، وله قدرة تحمل وكذلك قدرة انتقالية جيدة، تتضمن مميزاته التكلفة، الوزن، الهشاشة، ويستخدم العديد من المواد البلاستك والكثير تم تطويره فى محاولة نحو تفادى سلبياتها. العيوب هى التحلل بفعل الأشعة فوق البنفسجية للبلاستك (عادة خلال سنين قليلة) وعدم قدرته على تحمل درجات الحرارة العالية. المميزات الرئيسية للبلاستك هى خفة الوزن، سهولة القابلية للتشغيل، المتانة، رخص السعر.

خزانات الحفظ يجب عزلها جيداً، الأداء العادى هو باستخدام حوالى 20سم من العزل المعدنى على الأجناب، فى القمة، القاع. المواسير من الجامع إلى الخزان يجب كذلك أن تكون معزولة جيداً، ومنظمة لخفض الانخفاض فى الحرارة.المثالى هو المواسير بقطر 2.5سم أو أكبر للوحدات المنزلية، مع مسافات قصيرة ما أمكن عملياً.

حوض التخزين يكون عموماً ضخم بما يكفى لاحتواء حوالى الأعداد ليومين من الماء الساخن. ميزة كبر طاقة التخزين (الخزان الأكبر) يمكن معادلته بزيادة الفقد بسبب زيادة المساحة السطحية وزيادة زمن التخزين. الحكم هو أساساً اقتصادى، الخزان الضخم سوف يحمل خلال فترات عدم الإشماس الطويلة ولكن سيكون مكلفاً، الخزان الأصغر سيكون أقل تكلفة ولكن الحرارة الثانوية سوف تستخدم للتعويض فى عدم الأداء الشمسى وسوف من المحتمل أن تتضمن استهلاك وقود تقليدى.

المبادلات الحرارية : (Heat Exchangers)

الاستخدام الأساسى للتسخين الشمسى للماء هو الإمداد بالماء الساخن. ماء الصنبور الساخن بالطاقة الشمسية يمكن استخدامه مباشرة، أو فى حالة الحاجة إلى درجات الحرارة الأعلا فإن الماء يمكن زيادة تسخينه باستخدام سخان أضافى وتكميلى. الشكل (17/11a) فى كثير من التطبيقات يكون من الضرورى انتقال الحرارة من مائع الانتقال الساخن بالطاقة الشمسية إلى الإمداد بالماء البارد. كمثال، مائع الانتقال يمكن أن يكون الماء الذى تم إضافة مادة مضادة للتجمد إليه لمنع حدوث التجمد والتآكل خلال المصفوفة. يتم تدوير مائع الانتقال فى حلقة مقفلة والحرارة المنقولة خلال المبادل الحرارى بالتدفق المعاكس (Countercurrent) إلى تدفق ماء الصنبور أو الماء البارد شكل (17/11b) كذلك يمكن انتقال الحرارة خلال مبادل حرارى وحيد التيار إلى حوض التخزين للماء شكل (11/16).



شكل (11/6a,b,c)

شكل (11/16) نظم الامداد المختلفة بماء التسخين الشمسى

أ. نظام الحلقة المفتوحة – حيث التسخين للماء بالطاقة الشمسية ثم سخان إضافى.

ب. نظام الدائرة المقفلة حيث تنقل الحرارة من مائع ناقل بالتسخين الشمسى إلى تيار ماء عكسى.

ج. نظام الدائرة المقفلة حيث تنقل الحرارة إلى خزان حفظ للماء بمبادل حرارى وحيد التيار.

كما هو موضح فى الفصل رقم (2) معدل الانتقال الحرارى من المائع الأكثر سخونة إلى المائع الأبرد فى المبادل الحرارى بالتدفق المعاكس هو:

$$Q = U_L \times L \times L.M.T.D$$

حيث:

U = معامل الانتقال الحرارى

L = طول المبادل

LMTD = ولغاريتم متوسط فرق درجة الحرارة إلى

Log mean temperature difference

ما بين المائع الساخن والبارد الذى يساوى

$$L.M.T.D = \frac{(T_H - T_H') - (Tc - Tc')}{In\left[\frac{(T_H - T_H'}{Tc - Tc'}\right]}$$

حيث:

T_H, T_C = درجات حرارة الدخول الساخن، الخروج البارد للسائل الأولى (بالتسخين الشمسى) و

T_H' , T_C' = هى درجات حرارة خروج الماء الساخن ودخول الماء البارد للمائع الثانى (مثال، الماء) ومعدل الانتقال الحرارى يكون طبقاً للآتى :

$$Q = m_f\, C_{pf}\, (T_H - T_C)$$

أو مكافئاً لـ

$$Q = m_f\, C_{pf}\, (T_H' - T_C')$$

حيث: m_f = تدفق الكتلة كجرام/ الثانية

C_{pf} = الحرارة النوعية جول/كجرام °م

من الواضح أن ماء الصنبور الذى تم تسخينه ليس ساخناً مثل مائع الإقفال بالتسخين الشمسى ($T_H > T_H'$)، بالتالى فإن الحرارة التى تم إمدادها بواسطة المصفوفة

تم هبوطها إلى حد ما بالمبادل. على الجانب الآخر مائع الانتقال الحرارى يدخل ثانياً إلى المصفوفة عند درجة حرارة أعلا عن حالة ماء الصنبور عند تسخين مباشرة .($T_C' > T_C$)

إذا كانت درجة حرارة وسط التخزين (Storage Medium) تزداد بالتدريج مع تخزين الحرارة، فإن عملية الانتقال تصبح أقل كفاءة.

المبادلات يمكنها تبادل الحرارة بين سائلين أو بين سائل والهواء. مثلاً، فى نظم التسخين للفضاء بالهواء المدفوع عنوة فإن الحرارة يمكن أن تنتقل إلى تيار من الهواء المدفوع مثل السائل فى حوض التخزين الحرارى أو من التدفق المعاكس لسائل الانتقال الذى تم تسخينه بالطاقة الشمسية. كلما زادت كفاءة المبادل، كلما زادت كمية الحرارة المنقولة. كذلك، يتم تسخين الهواء إلى درجة حرارة أعلا ومائع الانتقال يتم تبريده بتأثير أكثر.

أحمال وأحجام النظم : (Loads and sizing of systems)

كما هو الحال بالنسبة لاستخدام آخر للطاقة الشمسية، فإن أفضل حجم لسخان المياه الشمسى طبقاً لتحقيق خدمة معينة للحاجة إلى المياه الساخنة (أى الحمل) يتوقف على مجموعة من العوامل، والتى تشمل :

أ) الاستثمار المطلوب فى النظام الشمسى.

ب) تكلفة البديل (الطاقة الإضافية).

جـ) توجيه المجمع الشمسى.

د) المناخ و درجة حرارة إمداد الماء البارد

فى حالة الإمداد المنزلى بالماء الساخن، تم تجميع مجموعة من الخبرة التى تبنى عليها التصميمات، حيث تستخدم القياس لتصميم النظام. تعيين حجم المجمع هو مثل الكثير من القرارات فى تصميم السخان الشمسى، التى تمارس فى المجال الهندسى. بالنسبة لحجم خزان الحفظ فهو يقع ما بين تكلفة أولية عالية وتكلفة إضافية عالية. حسابات حجم المجمع يمكن أن تتضمن بعض القواعد الهندسية المتطورة، لكن عموماً فى الظروف العادية، فإن المجمع الجيد يقوم بتسخين ما بين 50 إلى 100 لتر من الماء للمتر المربع فى اليوم. طبقاً لهذا المجال فإن الحجم التقريبى للتصميم الأولى يمكن تعيينه سريعاً من أرقام الاحتياجات اليومية. فى الولايات المتحدة متطلبات الماء الساخن هى حوالى 100لتر للفرد فى اليوم، وفى أستراليا حوالى 45 لتر للفرد فى اليوم. وفى

بلادنا استهلاك الماء الساخن أقل نسبياً ويكون مطلوباً فقط في شهور الشتاء باستثناء المناطق الباردة الشمالية والفنادق. للاستخدام المنزلي تكون درجة حرارة 55^{o}م مناسبة. كمثال، إذا كان المفروض أنه لمكان معين كان المتوسط السنوى للإشماس (Insolation) على سطح مائل عند أبعاد متساوية عن خط الاستواء هو حوالى 5000 كيلو كالورى/ المتر المربع فى اليوم يتم استقبالهم بواسطة نظام المجمع (Collector system). فإنه يمكن أن يؤخذ الطلب على الماء الساخن ليكون 50 لتر فى اليوم للفرد الواحد أو 150 لتر فى اليوم للأسرة بمتوسط ثلاثة أفراد، إذا كانت درجة حرارة ماء الصنبور 15^{o}م والماء الساخن 55^{o}م، فإنه يلزم حوالى 6000 كيلو كالورى فى اليوم. [150 × 1 (55 - 15)] لتسخين الماء. المجمع يستقبل 1500 كيلو كالروى على المتر المربع فى اليوم تقريبا [6000÷1500] = 4 متر مربع، وهو مساحة المجمع المطلوبة.

بالنسبة للسخان الشمسى للماء المنزلى يمكن التوصية بحجم الخزان ليكون 1.5 ضعف المتطلبات اليومية.

مكان وميل المجمع الشمسى وعلاقته بالخزان من الاعتبارات الهامة التى تتأثر بشدة بالتصميم المعمارى ومخطط المبنى المتصلين به.

يتم توجيه المجمع نحو الشمال الحقيقى ويكون مائلاً إلى أعلا من الأقصى عند زاوية مساوية لخط العرض (Latitude) للمكان. تلك التوجيهات (Orientations) هى نظرياً المثالية بالنسبة لتجميع الحرارة خلال العام. المثال الحقيقى لمكان معين يتوقف على عوامل كثيرة. فمثلاً، إذا كان هناك سقف على المبنى الذى يمكنه أن يتسع للمجمع، فإن ذلك من المحتمل أن يكون من المفضل من الناحية الاقتصادية وضعه هناك، أفضل من بناء منشأ مستقل إذا كانت زاوية السمت للسقف (Azmuth of the roof) خلال 15^{o} من الشمال الحقيقى، وإذا كان الميل هو فى حدود 10^{o} من زاوية خط العرض، فإن الفقد فى الكفاءة مقارنة بالمثالى يكون فى حدود من 10-15% ويكون من المفضل إضافة مجمع إضافى. الميل والتوجيه لهم أهمية قليلة فى حالة اقتراب خط العرض من خط الاستواء. أحمال الطاقة فى اليوم على نظام الماء الساخن سيكون بالنسبة للمعامل مقارنة بالأحمال المنزلية. نظم التدوير عنوة (Foreed circulation) هى المستخدمة عادة فى المنشآت الضخمة.

مثال:

متوسط شدة الإشعاع المتاحة هو 6 كيلوات ساعة/المتر المربع، مع 30% كفاءة تجميع، متوسط الإشعاع الحقيقى المتاح

= 6 × 0.3 = 1.8 كيلوات ساعة / المتر المربع

متطلبات الماء الساخن هى 200 لتر/اليوم مع ارتفاع درجة الحرارة من 15 إلى 65^{o}م = 50^{o}م

الحل :

الحرارة اللازمة لتخسين المياه = $mcpf\Delta T$

$= 200 \times 10^{3} \times 50$ calories

$= 10^{7}$ calories

$= 10^{7} \times 4.187$ Joules

$= \frac{10^{7} x 4.187}{3.6 x 10^{6}} KWh$

= 11.5630 KWh

[ʘ 1 Kwh = 3.6 x 106 Joules]

.. متوسط مساحة الجمع = $\frac{11-5630}{1.8}$ = 6.436 متر مربع

مثال:

عين حجم مصفوفة التسخين من العوامل الآتية:

متطلبات التسخين اليومية لمنزل أثناء فصل التسخين هى 100 كيلوات ساعة فى اليوم (100 KW-h/day).

متوسط الأشماس اليومى على المصفوفة هو (4KW-h/m2- day). كذلك بفرض أن كل وحدة (Panel) لها مساحة 1.5 متر مربع، كفاءة 50%، وأن ثلث التسخين سوف يأتى من سخانات إضافية.

الحل :

متطلبات التسخين الشمسية هى ثلثى (100KW-h/day)، حيث الثلث يتم إمداد بتسخين إضافى.

متطلبات التسخين الشمسى = 3/2 × 100 = 66.7 كيلوات ساعة/ اليوم

حيث أن كفاءة المجمع الشمسى 50%. فإن المساحة الكلية المطلوبة

Q (اليومية)	A =
H (اليومية) × λ كفاءة الجمع	

$$\frac{66.7}{0.5x4} = 33.3$$ متر مربع

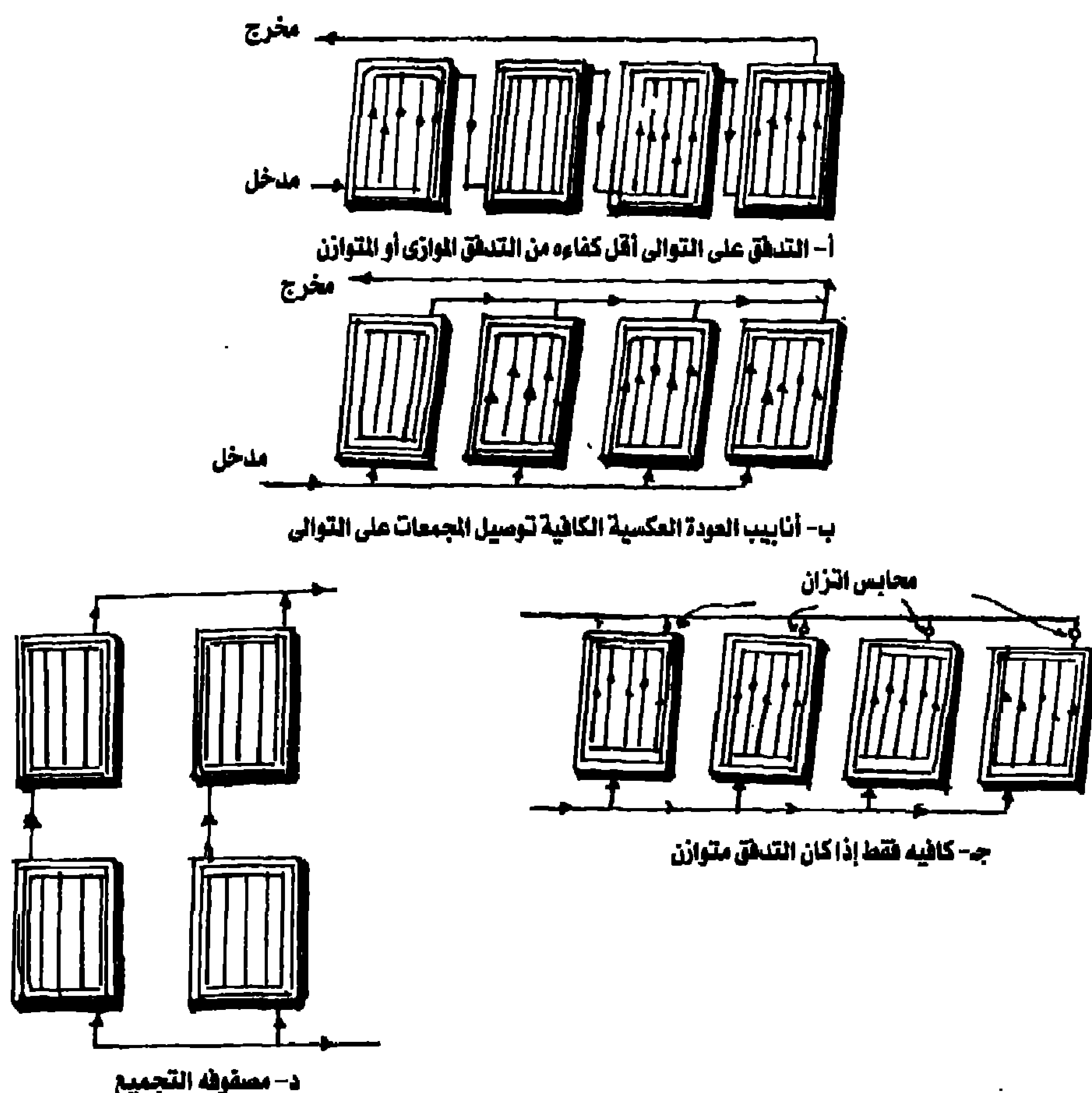
حيث أن الإطار أو الوحدة (Panel) فى المصفوفة له مساحة 1.5 متر مربـــع، وعدد الإطارات يكون

$$\frac{33.3}{1.5} = 22$$

المصفوفات على التوازى وعلى التوالى:

Series and parallel arrays:

المصفوفة الشمسية يمكن أن تتكون من إطارات تسخين منظمة أما على التوالى أو على التوازى أو بمجموع الاثنين، كما هو موضح فى الـــشكل (17/11). المـــصفوفة الكبيرة سوف لا تنتج درجة حرارة مرتفعة عن ما هو ممكن باستخدام مجمـــع واحـــد. المصفوفة من عدد (N) من الإطارات له القدرة على تجميع مضاعفات (N) من كميـــة الحرارة الممكنة بإطار واحد. لتجميع هذه الحرارة، فإن معدل تدفق المائع الـــذى يـــتم الإمداد به إلى المصفوفة يجب أن يزيد بمعامل <(N) فى المـــصفوفة علـــى التـــوالى الخارج من أحد الإطارات يتم ارتباطه مباشرة مع الدخول إلى الإطار التالى كما هـــو موضح فى الشكل (17/11a) وبالتالى فإن التدفق الزائد يجب أن يمر خلال كل إطـــار فى المصفوفة. مع زيادة سرعة المائع تزداد المقاومة، لذلك كلما زاد الطـــول الكلـــى للماسورة التى يتدفق خلالها السائل، كلما زادت مقاومة التدفق . لذلك المصفوفة علـــى التوالى الطويلة توفر مقاومة كبيرة لتدفق سائل الانتقال، والطلمبـــات يجـــب أن تنـــتج ضغوط عالية بحيث أن الضغط عند الدخول يكون أكبر منه عند الخروج. هـــذا ينـــتج إجهاد شد (Strain) على كل من الطلمبة وإطارات المصفوفة. فى حالة المصفوفة على التوالى (Series array) فإن كل الإطارات (Panels) لا تعمل بـــنفس الكفـــاءة. تلـــك الأقرب إلى المدخل تعمل عند درجة حرارة أقل ولذلك تكون ذات كفاءة. العكس يكون للإطارات القريبة من المخرج. لذلك وصلات التوالى تكون أقل كفاءة حرارية، نظـــراً لأن متوسط درجة حرارة عمل المجمع يكون أعلاء، ولكن الانخفاض فى الضغط خلال المصفوفة يكون عالياً. كذلك، من الصعب صرف مصفوفة الجمع، وتلف إطار واحـــد يمكن أن يخرج كل المصفوفة من العمل.



شكل (17/11 a,b,c) يوضح مصفوفات التوالى ، التوازى ، والمجموع

فى المصفوفة على التوازى فإن مدخل كل إطار يكون متصلاً بخط التغذية العام (Common feeder line). المخارج تكون متصلة بالصرف المجمع. رغم أن المصفوفة على التوازى أكثر صعوبة فى التنفيذ مقارنة بالمصفوفة على التوالى، فإنها توفر مقاومة أقل لتدفق المائع. بالإضافة، إذا كان إجمالى معدل التدفق الداخل إلى المصفوفة مقسم بالتساوى إلى إطارات منفردة، فإن خواص الأداء للمصفوفة يمكن استنتاجه بسهولة من ذلك للإطار الواحد. الكفاءة ودرجة الحرارة تزاد لمثل هذه الإطارات (N) ذات المصفوفة على التوازى هى نفسها كتلك للإطار الواحد، ولكن معدل التدفق والجمع المفيد للحرارة هو ضعف (N). الوصلة الحرارية أكثر كفاءة حرارية طالما أن التدفق خلال كل مجمع يكون متوازياً توجد طريقتين لا تزان التدفق، المحافظة على تساوى ممرات التدفق لكل مجمع أو باستخدام محابس اتزان (Balancing valves). نظام العودة العكسية (Reverse retarn system) الموضح فى

الشكل (ب). يتطلب مواسير إضافية ولكنه يوازن التدفق خلال المجمعات، نظراً لأن ممرات التدفق هى نفسها لكل مجمع شمسى. نظام العودة المباشرة الموضح فى الشكل (جـ) (Direct Return system) يمكن استخدامه بشرط توفير محابس اتزان (Balancing valves) تكون منشأة فى كل مجمع شمسى لتأكيد تجانس التدفق. بالنسبة للمصفوفات الكبيرة يكون أحياناً مفيد تغيير قطر مجمع المواسير (Manifolds) لاستمرار ثبات سرعة التدفق عملياً، تستخدم المصفوفة المجمعة عادة لتسهيل الإنشاء الشكل (جـ). بمجرد تمام إنشاء المصفوفة، فإن الأداء الكلى للنظم يمكن تحليله بطريقة تشبه لتلك المستخدمة للإطار الواحد (single panel).

منحنيات الكفاءة، التى يتم توقيعها لكل من (μ) مقابل (Tfi - Ta) /HT يمكن عملها للمصفوفة. بالإضافة، فإن درجة حرارة الخروج يمكن تعيينها بمجرد وصف معدل التدفق. فى حالة استخدام جهاز تحكم، فإن معدل التدفق يمكن ضبطه لتعيين درجة حرارة التشغيل للمصفوفة.

درجات حرارة التجمد : (Freezing temperatures)

كل سخانات الماء التجارية الناجحة يتم إنتاجها فى المناخ الدافئ حيث لا يحدث التجمد. الخطر الذى يكون متوقعاً حيث يمكن حدوث التجمد حتى فى حالة درجات الحرارة العادية لا تنخفض إلى أقل من نقطة التجمد. المواسير من النحاس فى المجمعات الشمسية قد تجمدت وانفجرت فى الليالى الصافية وبدون رياح عند عدم هبوط درجة الحرارة إلى أقل من 4°م الفقد الحرارى بالإشعاع كان ببساطة أكبر من الحرارة المكتسبة من الهواء المحيط، لذلك فإن درجة الحرارة تنخفض إلى دون التجمد.

إذا كانت هذه الحالة متوقعة، حتى لو كانت نادرة، فإن الحل الممكن هو.

1- يمكن تصميم المجمعات ليتم صرفها فى الأوقات حيث لا تكون فى حالة عمل أو عندما يكون من المحتمل حدوث التجمد.

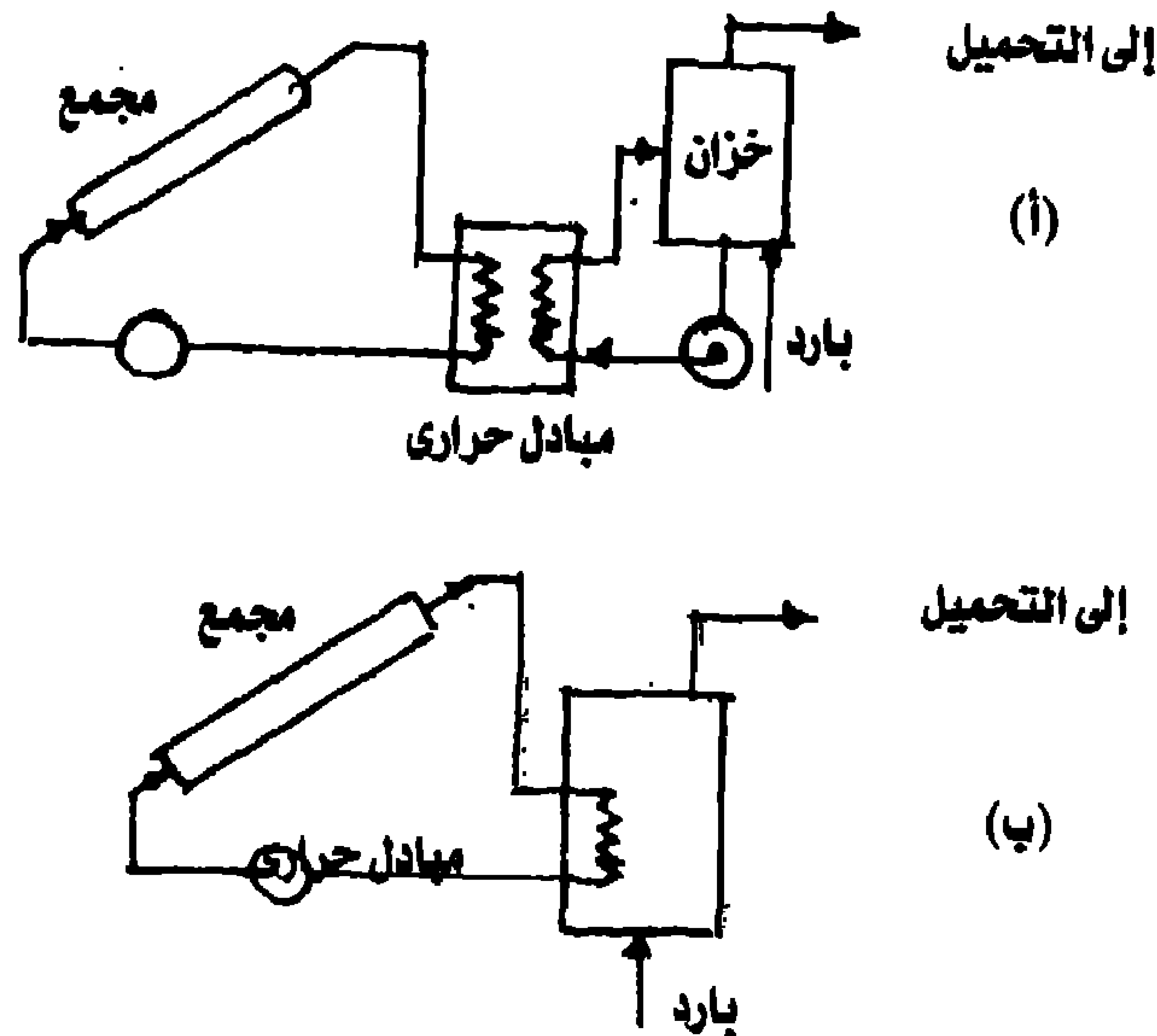
2- يمكن استخدام المحاليل المضادة للتجمد فى المجمع، مع المبادل الحرارى لنقل الطاقة إلى الماء.

3- المجمعات الشمسية يمكن تصميمها لتحمل التجمد الخفيف الذى يحدث من آن إلى آخر باستخدام تجهيزات مثل مطاط البيوتيل فى مجمعات المواسير العليا (Butyl Rubber Top Headers).

4- يمكن تغطية المجمعات بعازل متحرك.

5- الطريقة الخامسة والأقل استخداماً لمنع التجمد هي بإدخال الحرارة نحو جهاز الممص عند هبوطه إلى درجة حرارة قريباً من درجة التجمد. الطرق الأولية التى يمكن فيها عمل ذلك هى خلال تدوير السائل الساخن من حوض التخزين أو من عملية التسخين الكهربى المتصله بالماص.

معظم التطبيقات لسخانات المياه تم عملها تحت ظروف حيث التجمد لا يمثل مشكلة. فى الأجواء حيث التجمد يمثل مشكلة. أول طريقتين تم استخدامهم تجريبياً هما، استخدام محلول مضاد للتجمد بدلاً من الماء والذى يفرض مبادل حرارى إضافى بين المجمع وخزان الحفظ كما هو موضح فى الشكل (18/11).



شكل (18/11) طرق استخدام محلول مقاوم التجمد فى سخان الماء

فى نظم التسخين الشمسى التى تم مناقشتها، يستخدم مائع انتقال حرارى لا يتجمد، كذلك لنفس السبب أن المجمعات يمكنها تحمل الضغوط فى معظم خطوط المياه الرئيسية للمدينة. استخدام بولى بروبيلين جيليكول (Propylene glycol) كمضاد للتجمد يوصى به نظراً لأنه غير سام.

الخواص والأداء : (Characteristics and per formances)

التصميم القياسى وحسابات الأداء للمجمع تكون مبنية على فرضيات مطلقة للتوزيع المتجانس للتدفق فى كل المواسير الصاعدة (Risers) فى وحدات الجامع الشمسى الفردية أو المضاعفة. فى حالة عدم تجانس التدفق فإن بعض أجزاء من المجمعات ذات التدفق البطئ خلال المواسير الصاعدة يمكن أن تسير عند درجة حرارة أعلا عن

الأجزاء ذات معدلات التدفق الأعلى. لذلك فإن تصميم كلاً من مجمعات التوزيع (Headers) فى المجمعات الشمسية المنفردة والأنابيب المتعددة الفتحات الجانبية (Manifolds) للمجمعات الشمسية المضاعفة يكون هاماً فى الحصول على أداء جيد للمجمع.

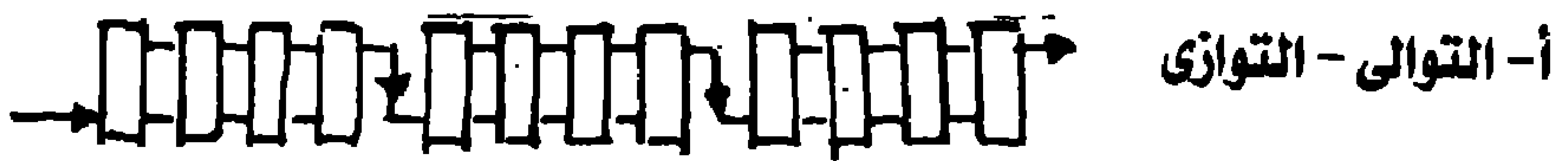
المشكلة تم دراستها بواسطة Davey , Dunkle بكل من الطرق التحليلية والتجريبية. وهى دلالة معينة فى نظم التدوير عنوة الضخمة، نظم التدوير الطبيعى تميل أن تكون ذات تصحيح ذاتى والمشكلة ليست حادة نتيجة لهذه الدراسة فإن (Davey , Dunkle) أوصيا بالآتى:

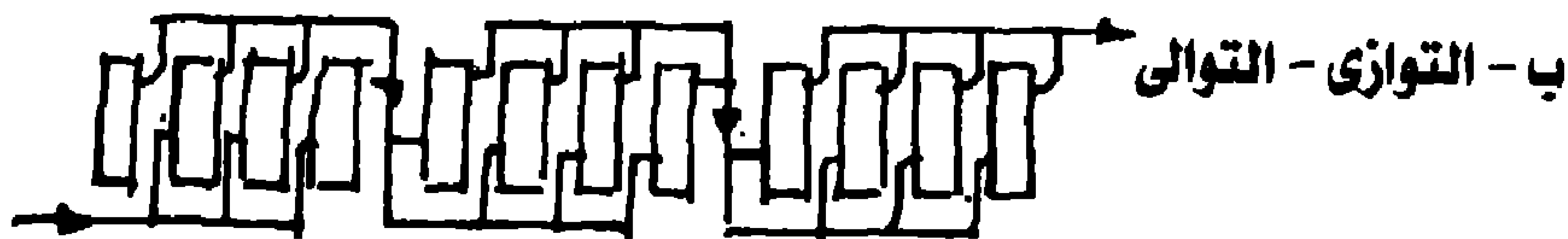
1- لتصميم المجمعات الشمسية باستخدام مجمعات التوزيع (Headers) كبيرة بما يكفى لضمان معظم انخفاض الضغط فى المواسير الصاعدة.

2- مجموعات حتى 24 ماسورة صاعدة يمكن أن تكون كافية لكل من التدوير عنوة والتدوير الطبيعى.

3- بالنسبة لمجموعات التدوير عنوة لما يزيد عن 24 ماسورة صاعدة، فإنه لا يزيد عن 16 ماسورة صاعدة يوصى بها لتكون على التوازى، بالنسبة للمجموعات الأكبر على التوالى يمكن استخدام وصلات متوازية أو مضاعفة.

لقد لوحظ أنه تحت مجالات مختلفة من الظروف كانت الزيادة فى درجة حرارة الماء خلال المجمعات فى نظم التدوير الطبيعى هو حوالى 10^{o}م. الشكل (19/11) بين الطرق البديلة لتوصيل مجموعات المجموعة (Collectors Bank).





شكل (19/11) الطرق التبادلية لتوصيل المجمعات مع الخزان

الفصــل الثــانى عشر

التدفئة الشمسية للمبانى

Solar Heating of Buildings

1- مقدمة :

يمكن توفير الحرارة فى المبنى لراحة المقيمين من الطاقة الشمسية بنظم كبيرة لتسخين المياه. تدفئة المساكن باستخدام الإشعاع الشمسى طريقة قديمة واستخدمت عندما بدأ الإنسان فى بناء مسكنه. العمل العلمى الأول نحو التدفئة المنزلية بدأ عام 1940.

بسبب انخفاض متطلبات درجة حرارة التدفئة المنزلية، فإن التدفئة الشمسية للمبانى أصبحت أهم استخدام للطاقة الشمسية. وقد أصبحت التقنية مطورة وتكلفة التدفئة الشمسية أصبحت منافسة للتدفئة باستخدام الطرق التقليدية. بسبب الإشعاع الشمسى المنخفض الذى يصل إلى الأرض (بمقدار 300 إلى 600 وات/المتر المربع)، والطبيعة المتقطعة، فإن تخزين الطاقة الشمسية أصبح أساسى، وهذا ينتج عنه زيادة التكاليف الأولية لبناء وحدة التسخين أو التبريد الشمسى. ولكن، فى حالة التصميم والإنشاء الجيد فإنه على المدى الطويل يصبح أقل من تكلفة استخدام الطاقة الكهربية.

المائع الأكثر استخداماً للانتقال الحرارى هو الماء والهواء. المكونات الأساسية لنظم التسخين الشمسى هى (1) الجامع الشمسى (Collector) (2) التخزين (Storage)، (3) السخان الإضافى للاستخدام عند عدم إتاحة الطاقة الشمسية بسبب أيام تكاثر السحب والغيوم (4) نظام توزيع الحرارة مثل سخانات الإشعاع (Radiant Heaters)، نظام دفع الهواء (forced air)..الخ (5) المروحة أو النافخ (Blower) فى حالة نظام دفع الهواء، (6) التحكم.

أنواع النظم الشمسية:

يوجد نوعين للنظم الشمسية وهما النظم الفعالة أو النشطة (Active) والنظم الخاملة أو الغير نشطة (Passive). النظم الفعالة التى يتم فيها تجميع الإشعاع الشمسى بواسطة بعض من عنصر المنشأ نفسه، أو الدخول المباشر إلى المنشأ خلال نوافذ ضخمة مواجهة الجنوب. النظم الخاملة أو الغير نشطة والتى تتكون عموماً من

أ- مجمعات شمسية منفصلة التى تقوم بتسخين الماء أو الهواء.

ب- تجهيزات تخزين التى يمكنها تراكم الطاقة المجمعة للاستخدام ليلاً وخلال الأيام العاصفة.

جـ- نظم تغذية إضافى لحالات الجو السئ.

الحرارة تنقل من المجمع الشمسى أو من وسائل التخزين بمعدة تقليدية مثل وحدات مروحة الملف (Fan coil) عند الإمداد بالماء الساخن أو البارد، المروحة، مواسير

الهواء (Ducts) ومخارج الهواء، عندما يكون الهواء هو وسيط للانتقال، والوسائل الإشعاعية عندما يكون التسخين هو العمل الوحيد والذى يجب تنفيذه.

مكونات النظام : (System components)

(1) المجمعات الشمسية : (Collectors)

فى نظام التسخين الشمسى الفعال، يستخدم عادة جامع منفصل وهذا يمكن أن يبنى فى المنشأ، كجزء من السقف أو الحائط المواجه للجنوب، أو يمكن أن يكون تجهيز منفصل والذى فى بعض الحالات، يتم إنشاؤه عند بعض الأماكن المناسبة الغير متصلة حقيقة بالمسكن. تم تطوير أنواع كثيرة من المجمعات الشمسية خلال السنين، بدءاً بالبديل البسيط والذى هو إطار متعرج (Zig-Zag) من مواسير النحاس الملحومة مع لوح مستوى من النحاس. أحدث تطوير هو المستخدم لعملية الرباط المدرفل (Boll - Bond) حيث المواسير تكون متكاملة مع اللوح. هذا يمكن عمله فقط باستخدام المعدن المطاوع، مثل الألومنيوم أو النحاس. تم عمل العديد من النسخ من مجمعات الصلب المجلفن وتم تطوير سخانات الهواء التى تستخدم الزجاج المطلى باللون الأسود كمادة تجميع شمسى. كفاءة التجميع تعتمد على الانتقالية لزجاج الغطاء، الامتصاصية للإشعاع الشمسى بواسطة لوح الامتصاص، الانبعاث طويل الموجة للوح. كفاءة التجميع تتغير مع الوقت من اليوم وتعتمد على عدد من الساعات بعيداً عن شمس الظهيرة للمجمعات الشمسية المواجهة نحو الجنوب.

(2) تجهيزات التخزين : (Storage Devices)

تخزين الحرارة أو البرودة جزء أساسى لنظام التسخين أو التبريد الشمسى، حيث لا توجد طاقة شمسية ليلاً وفى كثير من دول العالم توجد حالات حيث تغيب الشمس لمدة تصل إلى ثلاثة أيام متتالية. أنواع نظم التخزين الشمسى أعدادها ، تتكون أساساً من خزانات مملوءة بالماء، وأحياناً بإضافة سائل مانع للتجمد، أو أوعية مملوءة بقطع الأحجار الصغيرة أو الزلط. تلك تعمل بعملية الحرارة النوعية، حيث الماء له حرارة نوعية 4.187 كيلو جول/كجرام ^{o}م والصخر له تقريباً 0.837 كيلو جول/ كجرام ^{o}م. نظام الطبقة الصخرية يستخدم مع الهواء كوسط انتقال حرارى وهذا التجميع له ميزة أنه لا يتجمد والتسرب ليس حاداً. نظام الماء له ميزة القدرة على حرارة زائدة فى حجم ووزن معين، ولكن يجب الحذر نحو منع التجمد والتسرب والذى يمكن أن يكون من الأمور الهامة.

النظام الذى مازال تحت البحث والتطوير يستخدم حرارة الانصهار لمختلف المواد، وخاصة الأملاح ذات درجة حرارة الانصهار المنخفضة (Eutectic salts)

الممثلة بواسطة ملح جلوبر (كبريتات الصوديوم اللامائى). هذه المادة لها حرارة كامنة تزيد إلى حد ما عن 232.2 كيلو جول/ كجرام وهى تنصهر وتتجمد على 40^oم تقريباً. الماء هو مادة انصهار حرارى آخر والتى عند تجمده عند صفر درجة مئوية يعطى حرارته الكامنة للانصهار 334 كيلو جول/كجرام عند انصهاره، نفس كمية الحرارة يجب إضافتها إليها.

(3) نظم التوزيع : (Distribution systems)

عند استخدام الماء كوسط للانتقال الحرارى، فإن الحرارة التى تحمل إلى المنشأ بواسطة أنابيب الإمداد والعودة والهواء خلال المنشأ يتم تسخينه بدفعة فوق لفة من المواسير مزودة بزعانف (Finned coil)، مستخدماً مجموعة من المروحة – ولفة المواسير (Coil) من النوع المستخدم على نطاق واسع فى التسخين وتكييف الهواء. التسخين الإشعاعى يمكن استخدامه كذلك، مستخدماً أما أنابيب رقيقة على طول الجزء العلوى للحائط، أسفل السقف مباشرة أو استخدام أنابيب مدفونة خلال السقف أو الأرض. عندما يكون الهواء هو وسط الانتقال الحرارى فإن المروحة التى تسحب الهواء خلال المجمع الشمسى وتدفعه إلى التخزين يمكن استخدامه كذلك لإحداث التدفق للهواء إلى مختلف الغرف الجارى تدفئتها. مخارج الهواء التقليدية سوف تتقدم عندئذ توزيع الهواء بانتظام. عند محاولة التبريد، فإن نظام المروحة لفات المواسير (Fan - coil) هو النوع الأكثر استخداماً نظراً لأنه يمكنه كلاً من التدفئة والتبريد طبقاً لدرجة حرارة الماء المتدفق خلال أنابيبه. التدفئة الإشعاعية ليست مستخدمة كثيراً وليست ناجحة عندما يكون من الواجب عمل التبريد كذلك، لأن الانخفاض فى درجة حرارة الهواء إلى ما دون نقطة الندى سوف يسبب نقاط من الرطوبة تتكون على سطح الإشعاع وهذا حل غير مسموح به.

(4) التدفئة والتبريد الإضافى (Aluxiliary Heating and cooling)

جهاز التسخين أو التبريد الإضافى هو ذلك الذى يحمل جزءاً من الحمل خلال فترات مطالب التدفئة أو التبريد العالى. يمكن أن يكون سخان يعمل بحرق الوقود، أو سخان كهربى أو نظام التبريد بالضغط الذى يعمل كمضخة حرارة فى أسلوب تسخين. بالنسبة للتبريد، فإن طلمبة التسخين تقدم حل جيد للمشكلة، نظراً لأنه يمكنها التدفئة فى الشتاء والتبريد فى الصيف. المقاومة الكهربية يمكن استخدامها، ولكنها مكلفة نسبياً نظراً لأن كل كيلوات ساعة ينتج حوالى 660 كيلو كالورى، بينما طلمبة الحرارة (Heat Pump)، ذات معامل أداء 4 أو 5 سوف تنتج من 3 إلى 4 كيلو كالورى/ كيلو ساعة وكذلك يمكنها توفير التبريد فى فصل الصيف.

(5) التدفئة والتبريد الاحتياط : (Stand by Heating and cooling)

النظام الاحتياطى هو ذلك الذى يمكنه حمل كل حمل التدفئة أو التبريد ويمكن استخدامه فى حالة عدم أداء النظام الشمسى أطلاقاً. يمكن استخدام الغاز الطبيعى أو الكهرباء كمصدر احتياطى. التجميع بين مضخة الحرارة والماء بالتسخين الشمسى يشكل طريقة اقتصادية لحل هذه المشكلة كما تم تنفيذه فى طوكيو.

(6) نظم التبريد : (Colling systems)

أحد الطرق العملية لتوفير التبريد بالإشعاع الشمسى كمصدر للطاقة هو نظام الامتصاص. هذا يمكنه استخدام الماء كماص والأمونيا كمبرد (Refrigerant) أو أن الوضع يمكن أن ينعكس ويمكن استخدام برميد الليثيوم (Lithium Bromide) كماص مع الماء كمبرد. النظام الأخير هو الأكثر استخداماً فى نظم التبريد الشمسى، ولكن له السلبية التىتتطلب درجة حرارة تشغيل قريباً من 93^{o}م، وهذا يكون يصعب تحقيقه بالنسبة لمجمع اللوح المستوى للحصول على ما يزيد عن 6 ساعة/ اليوم.

نظم التسخين الشمسى : (Solar Heating systems)

أ- النظام الخامل الغير فعال : (Passive system)

زيادة عدد المساكن المستخدمة لمختلف النظم الخاملة تم بناؤه وكذلك تحت الإنشاء أساساً فى المبانى ذات النوافذ الضخمة التى تواجه خط الاستواء (الجنوب فى نصف الكرة الشمالى، والشمال فى نصف الكرة الجنوبى) ومنظمة لتسمح بالإشعاع الشمسى فى المبنى عندما تكون الشمس منخفضة فى سماء الشتاء والتى سميت البيوت الشمسية (Solar Houses). المكاسب المطلوب تحقيقها من النوافذ ذات التوجيه الصحيح كبيرة، ولكن فى المناخ البارد فإن الفقد خلال فترات الإشعاع المنخفض، الليل، وجود السحب يلزم إحكامه لتحقيق المكاسب النهائية.

مفاهيم التصميم الشمسى الخامل الغير فعال تتضمن طرق الجمع، التخزين، وتوزيع والتحكم فى تدفق الطاقة الحرارية بالطرق الطبيعية للانتقال الحرارى. التعريف يمكن أن يشمل التبادل الحرارى بين العناصر الأساسية للبناء الشمسى. الفضاء (Space) المطلوب تسخينه أو تبريده، الجامع الشمسى (للسماح للطاقة الشمسية بالدخول فى النظام وتحوله إلى حرارة) لنظام التسخين أو الغور (sink الذى يتم صرف الحرارة إليه) لنظام التبريد والتخزين الحرارى وهم العناصر الأساسية للبناء الشمسى. إذا كانت تبادلات الطاقة الممكنة بين الجامع أو الصرف (Sink)، فإن الفضاء الحى والتخزين يكونوا بفعل ظاهرة الدفع عنوة مثل استخدام المراوح، الطلمبات..الخ، عندئذ فإن النظام

يمكن تصنيفه كنظام فعال أو نشط (Passive). الجمع بين النظم الفعالة والغير فعالة أحياناً يسمى النظام المختلط (Hybrid system).

لذلك النظم الغير فعالة الخاملة ليس لديها مجمعات شمسية وتخزين طاقة منفصلة أو وسائل ميكانيكية. وهى تستفيد من الطاقة المتاحة فى بيئتها المجاورة والعمليات الطبيعية هى التى تقوم بتبادل الطاقة. المصطلح "التدفق الطبيعى للطاقة" "Natural Energ flow" لا يتم تفسيره على أنه تدفق طاقة غر منظم. فى الواقع التدفق يمكن أن يكون عالى التنظيم بالتحكم مثل المخمدات (Dampers)، النوافذ القابلة للفتح والغلق وبالعزل المتحرك أو تجهيزات التظليل.النقطة الهامة التى يلزم ملاحظتها هى أن التدفق يكون بدون قوى ميكانيكية.

فى حالة تصميم البناء بطريقة جيدة :

1- فإنه يجب أن يعمل كمجمع شمسى، حيث يجمع الحرارة عند سطوع الشمس وتخزينها للاستفادة بها بعد ذلك.

2- يجب أن يكون المبنى بصفة وعاء للتخزين الشمسى. يجب أن يقوم بتخزين الحرارة فى حالات البرد عند عدم سطوع الشمس وتخزين البرد لتفرات الدفئ الشديد أو الحرارة وعندما تكون الشمس ساطعة. المواد الذى تصنع من المواد الثقيلة مثل الأحجار أو الطوب اللبن أو الحجر الجيرى ذات معدل الانتقال الحرارى الضعيف تؤدى ذلك بكفاءة.

3- يجب أن يكون المبنى مصيدة جيدة للحرارة. يجب أن يستفيد من الحرارة (أو البرودة) ويدعها تنطلق وتهرب ببطئ شديد جداً. يتم ذلك أساساً بخفض الفقد الحرارى للمبنى خلال استخدام العزل وخفض نوافذ التسرب والتدفق المفاجئ.

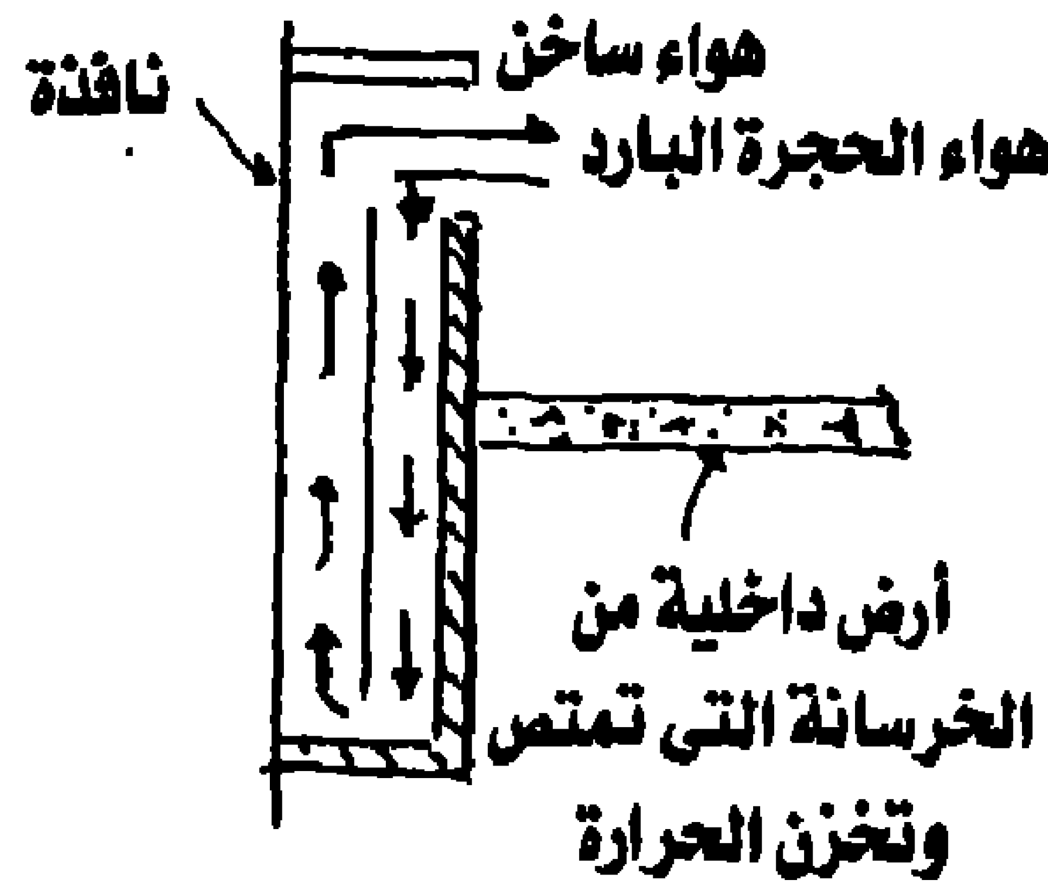
جدار وسقف المبنى يجب توجيهه بالطريقة حيث يستقبل حرارة الإشعاع الشمسى فى الشتاء ويحجبها فى الصيف. المبنى يمكن أن يستفيد من توجيهه، لأسباب مشابهة يجب أن يستفيد من النسب المختلفة لطوله إلى عرضه إلى ارتفاعه. أفضل شكل يفقد أدنى كمية من الحرارة التى تتحرك إلى الخارج ويكتسب أقصى كمية من الحرارة الشمسية فى الشتاء، ويحتفظ بأدنى كمية من الحرارة الشمسية فى الصيف.

رغم أن لون وتوجيه وشكل المبنى هو من العوامل الهامة فى اكتساب الحرارة الشمسية، فإن المكون الرئيسى هو نوافذه . بجانب خفض الطاقة الكهربية المطلوبة للإضاءة، فإن الزجاج المعرض لضوء الشمس يسمح بالحرارة. المنازل التجريبية التى لها الحوائط المواجهة نحو الجنوب المكون معظمها من الزجاج تصميم للاستفادة من هذه الحقيقة.

تأثير الصوبة (Green House Effect) (حيث الزجاج يسمح بالإشعاع ذو الموجة القصيرة من الهروب) وهى المسئول أساساً عن هذه الظاهرة. تصميم النوافذ المواجهة للجنوب يتطلب أن الطاقة الحرارية داخل المبنى تكون كبيرة لتمتص الحرارة الزائـــدة المخزنة بحيث أن الفضاء الداخلى لا يتطلب تهوية (Venting). كلما كان مقدار العزل للحوائط والنوافذ جيداً، كلما قل الفقد فى الحرارة خلال الانتقال الحرارى وزادت الطاقة الحرارية.

الأطر الشمسية التى تعمـــل بالـــسيفون الحـــرارى (Thermosyphoning solar panels) تدير الهواء أو الماء طبيعياً أو بدون مصدر إضافى من الطاقة مثل المروحة أو الطلمبة. مع تسخين الهواء أو الماء بالشمس، فإنه يتمدد ويرتفـــع خـــلال المجمـــع الشمسى. هذا التحرك يسحب خلفه الهواء أو الماء الأكثر كثافة من تخـــزين الحـــرارة الشمسية أو من المبنى.

تم تصميم مبنى كمثال ممتاز لاستخدام الطاقة الشمسية لتدفئة الفضاء على مستوى كبير ولكن بدون أجزاء متحركة وببساطة متطورة. المجمعات الشمسية تم تـــصميمها بحيث الإطارات المعدنية المموجة السوداء تكون موضوعة خلف الإطارات الزجاجيـــة التى تغطى الجدار الشرقى، أو الجنوبى أو الغربي للمبنـــى. الـــشكل (1/12) يوضـــح مخطط للمجمع.

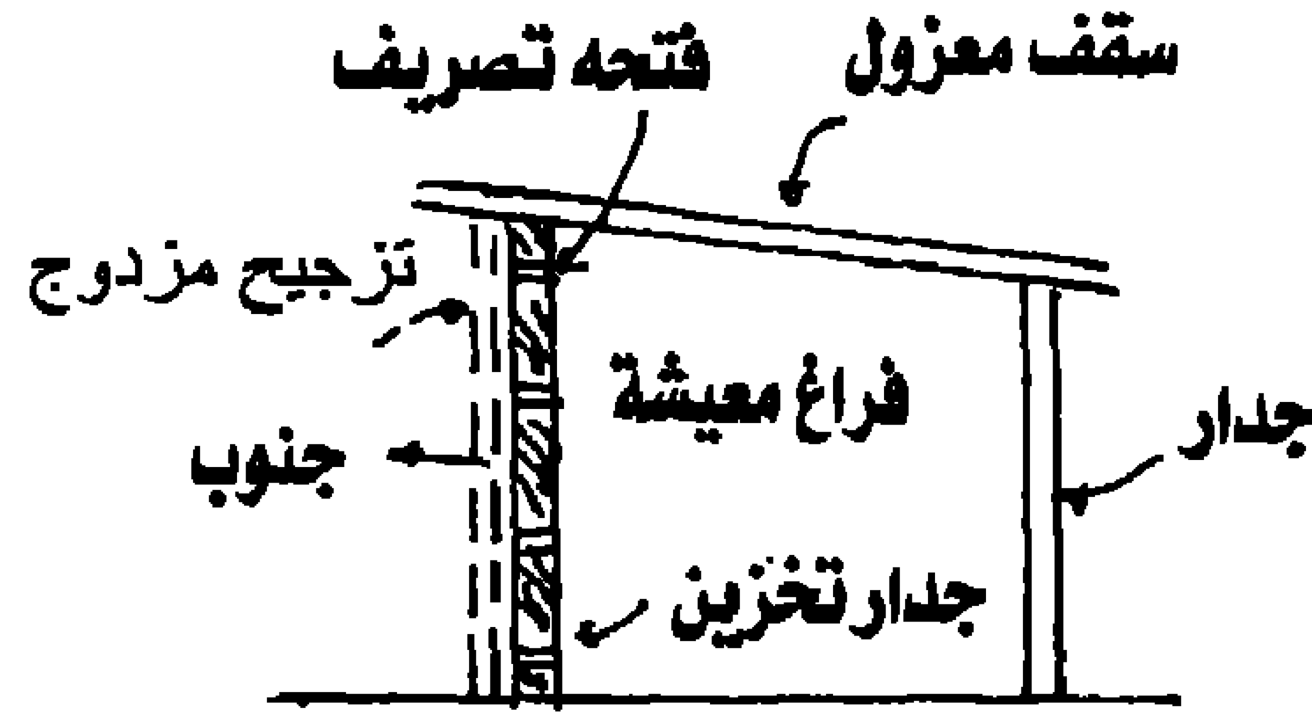


شكل (1/12) مخطط للمجمع الشمسى بالسيفون الحرارى

الإشعاع الشمسى يخترق خلال الزجـــاج ويـــصدم بالإطـــار المعـــدنى الممـــوج (Corragated) الذى يكون محتوياً فى المساحة المحددة بالزجاج والمسلك (Duct). مع تسخين الهواء، فإنه يرتفع إلى أعلا وإلى الخارج خـــلال التـــصريف (Vent) وإلـــى الغرفة، هواء الغرفة الأبرد يتم سحبه فى نفس الوقت خلال نفس التصريف وإلى أسفل ما بين ظهر الماص (Back) والمسلك.

لا يوجد احتياط أو تدبير باستثناء كتلة المبنى (أرضية الخرسانة تحديداً) المصنوعة لتخزين الحرارة فى هذا النظام، والأكثر تأثيراً عند سطوع الشمس.

اللوح الماص التقليدى ليس ضرورى مطلقاً فى مجمعات السيفونات الحرارية. فى المجمعات من النوع الهوائى يمكن استخدام العديد من الأسطح البديلة للـوح المعـدنى المستوى. السطح الحقيقى يمكن أن يكون سطح امتصاص نفسه، مع حب إضافة أسود فى الخرسانة. تم عمل العديد من التجارب المتضمنة تطوير إنشاءات التسخين الشمسى. مقطع لتلك المبانى، الذى يوضح حائط تخـزين المجمـع (Collector storage Wall) موضح فى الشكل (2/12).



شكل (2/12) مخطط لمقطع لمنزل بالتدفئة الشمسية

النظام خامل وغير فعال، ذلك لأن الإشعاع الشمسى يتم امتـصاصه بالخرسـانة الثقيلة، الجدار المواجة ناحية الجنوب المغطى بواسـطة طبقـة زجاجيـة فرديـة أو مزدوجة.المسافة بين الزجاج وجدار الخرسانة هـى جـوالى 10 – 20 سـم. جـدار الخرسانة يكون بسمك 70سم، ومطلى باللون الأسود، والذى يعمل كلاً مـن المـاص للإشعاع ووسط للتخزين الحرارى. الفتحات تكون متوفرة خلال الخرسانة عند القمـة وعند القاع، بحيث أن يدور الهواء خلال الفضاء بين الزجـاج والخرسـانة، وخـلال الغرفة. هذا الدوران هو بالحمل الحرارى الطبيعى (Natural convection)، ولا يـتم استخدام طلمبات أو نظم تحكم. خط السخانات الكهربية يتم توفيره لأغراض الاحتيـاط خلال الجو شديد البرودة وخلال أيام ضعف سطوع الشمس، هذا النظام بـسيط جـداً، ولكن ثبت كفاءته.

يمكن القول أن النظم الغير فعالة (Passive) توفر عدد من المميزات. تلك تحقـق وفر كبير فى الطاقة ويمكن تضمينها فى تصميمات المبانى مع تكلفة قليلة أو عدم تكلفة إضافية. كذلك بساطة التصميم، العمل والصيانة تجذب الانتباه. المـواد العاديـة يـتم استخدامها فى الإنشاء والتى يمكن صيانتها بالقليل من المعلومات الفنية.

النظم الفعالة النشطة : (Active systems)

معظم المبانى فى كل العالم المستخدمة للتسخين الشمسى تستخدم النظـام الفعـال النشط، حيث تستخدم مجمعات منفردة مع الإشعاع الشمسى، انتقاله إلى الهواء أو الماء، وتخزينه فى خزانات من الماء أو من أكوام الصخر أو فى كليهما. يتم تـدوير الهـواء والماء بالمراوح والمضخات، والوسائل التقليدية يتم استخدامها لتوزيع الحـرارة إلـى داخل المساكن.

نظم التسخين الشمسى يمكن أن يعمل طبقاً لأى من الأساليب الآتية:

1- عند وفرة الطاقة الشمسية وعدم الحاجة إلى التدفئة فإن الطاقة المكتـسبة مـن المجمع يتم إضافتها إلى التخزين.

2- عند توفر الطاقة الشمسية مع الحاجة إلى التدفئة يتم إمداد الحرارة إلى الفضاء من المجمع مباشرة.

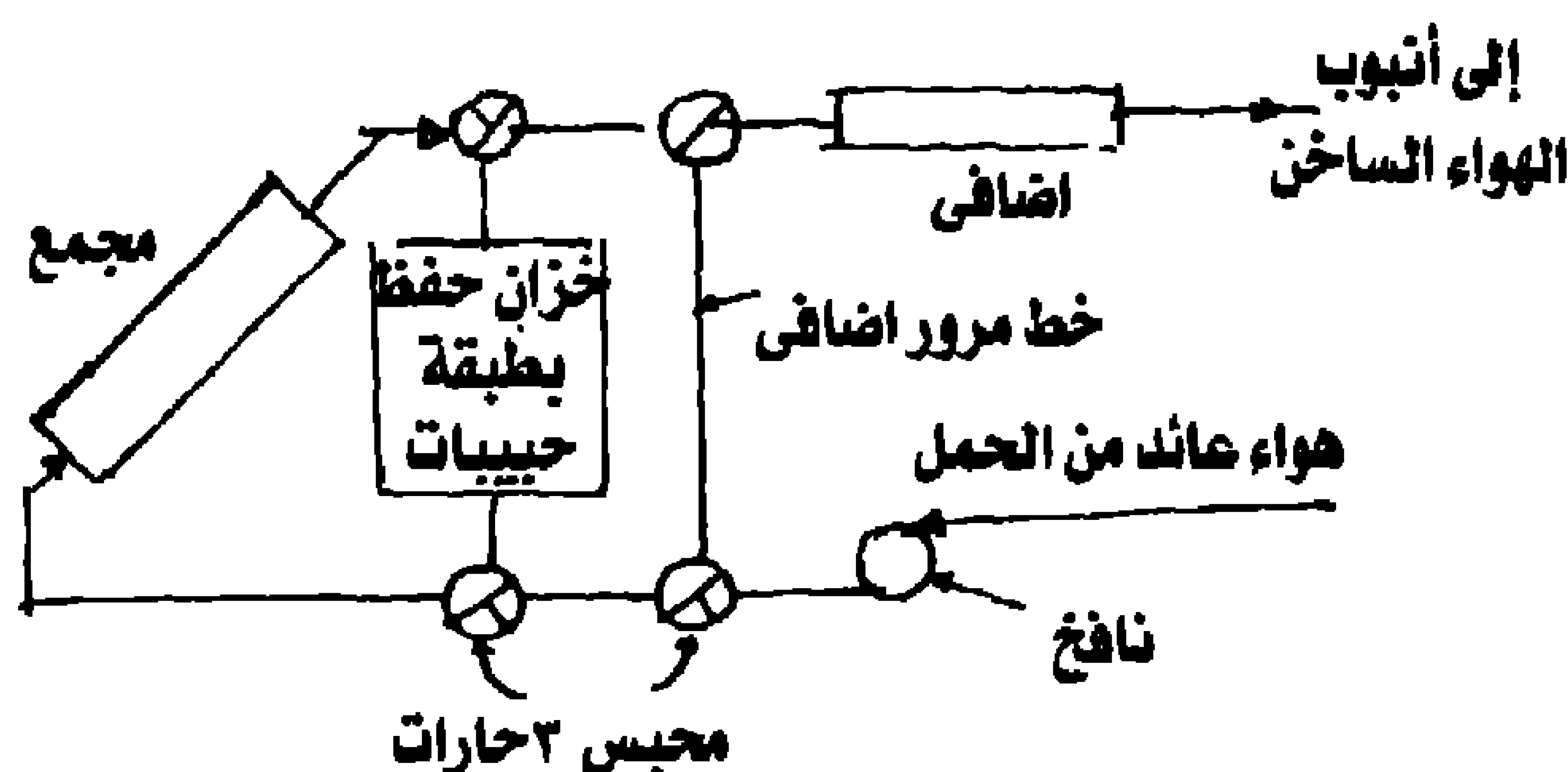
3- عند توفر الطاقة الشمسية وليست مطلوبة للتدفئة بينما وحـدة التخـزين يـتم تسخينها كاملا، فإن المجمع الشمسى يمكنه أن يكتسب طاقة ولكـن لا توجـد أحمال لمقابلتها. فى مثل هذه الحالات الطاقة الشمسية لا يمكن اسـتخدامها ولا يمكن تخزينها ويتم التخلص منها.

4- عند عدم توفر الطاقة الشمسية ووحدة التخزين قد سـبق أن قامـت بتخـزين الطاقة، فإن وحدة التخزين يمكن استخدامها لإمداد الحرارة إلى الفضاء.

5- عند عدم إتاحة الطاقة الشمسية وعدم وفرة الطاقة المخزنة فى الخزان، أى أن الطاقة المخزنة قد انخفضت فى مثل هذه الحالات فإن المصدر الإضافى للطاقة يتم استخدامه لتوفير الحرارة المطلوبة للمبنى.

النظام الأساسى للهواء الساخن: (Basic Hot air system)

الشكل (3/12) يبين مخطط للنظام الأساسى للتسخين بالهواء الساخن.



شكل (3/12) مخطط لنظام الهواء الساخن

فى هذا النظام وسط التخزين (الحصا الصخرى) يكون محجوزاً فى وحدة التخزين، بينما الهواء هو المائع المستخدم لنقل الطاقة من المجمع إلى التخزين وإلى المبنى. الأساليب المختلفة لعمل نظم التسخين يتم الحصول عليها بمساعدة عمل مختلف المثباطات (Dampers). مع هذا النظام لا يمكن جمع الأساليب بكل من إضافة الطاقة إلى أو إزالة الطاقة من التخزين فى نفس الوقت. مصدر إضافى للتسخين يتم توفيره كذلك. يمكن استخدام التدفئة أو التسخين الإضافى لتعزيز الإمداد بالطاقة للمبنى من المجمع أو التخزين إذا كان الإمداد بالحرارة منه غير كافى.

وضع نافخ الهواء (Blower) الموضح فى الشكل (3/12) فوق التيار للمجمع والتخزين، ويدفع الهواء خلال تلك للتسخين. فى هذه الحالة يحدث القليل من التسرب للهواء الساخن. كذلك يمكن وضع النافخ أسفل التيار للمجمع والتخزين، بحيث أن الضغط فى المجمع ليس أعلا من الضغط فى المجال المحيط، والذى يمكن أن يكون مفيداً فى التحكم فى التسرب.

النظام المبنى على هذا المفهوم له عدد من المميزات، مقارنة مع تلك المبنية على استخدام الماء كوسط انتقال للحرارة.

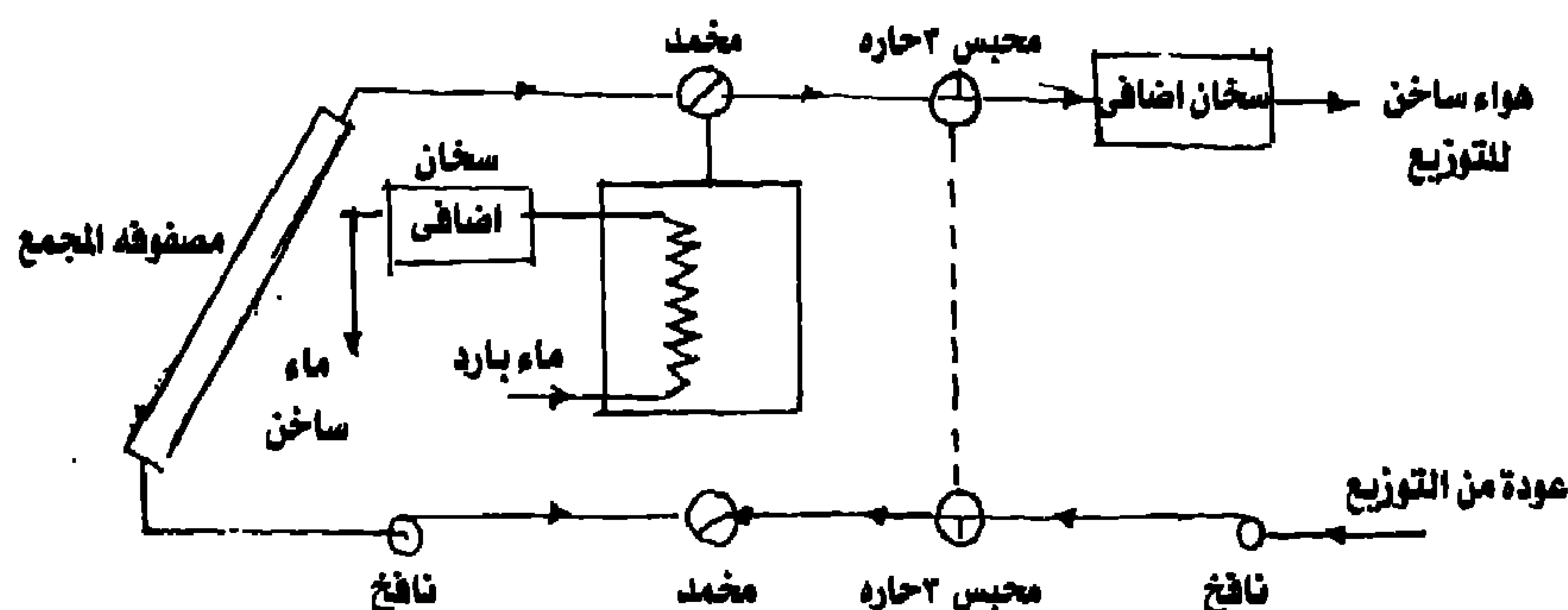
1- لا توجد مشكلة للتجمد فى المجمعات.
2- مشاكل التآكل تكون عند أدناها.
3- معدة التحكم التقليدية لتسخين الهواء تكون متاحة مسبقاً ويمكن استخدامها فوراً.
4- مشاكل التصميم للتسخين الزائد خلال فترات عدم إزالة الطاقة تكون عند أدناها.
5- مائع الاستخدام هو الهواء ونظم تسخين الهواء الساخن تكون ذات الاستخدام العادى.

العيوب هى:

1- التكلفة العالية نسبياً للطاقة لضخ الهواء خلال وسط التخزين.
2- أحجام وحدات التخزين ذات حجم كبير نسبياً.
3- صعوبة إضافة مكيفات امتصاص الهواء إلى النظام.

استخدام الهواء كوسط لنقل وتوزيع الحرارة فى نظام التدفئة الفراغية موضح مخططه فى الشكل (4/12). عند ضبط المثباطات (Dampers) فإن الهواء الساخن من المجمع يمكن تقسيمه بين تخزين الصخرة ونظام التوزيع، طبقاً لظروف ومطالب الاستخدام. فمثلاً، عند سطوع الشمس بعد العديد من الأيام شديدة الغيوم يكون المطلوب

استخدام الحرارة المتاحة مباشرة فى نظام التوزيع بدلاً من وضعها فى التخزين. المحابس ذات الثلاث مسارات (3 Way valves) يمكن استخدامها للتمرير بعيداً عن خزان الحفظ، كما سبق شرحه. إمداد الماء الساخن يمكن توفيره بالمبادل الحرارى من الهواء إلى الماء فى حوض التخزين.

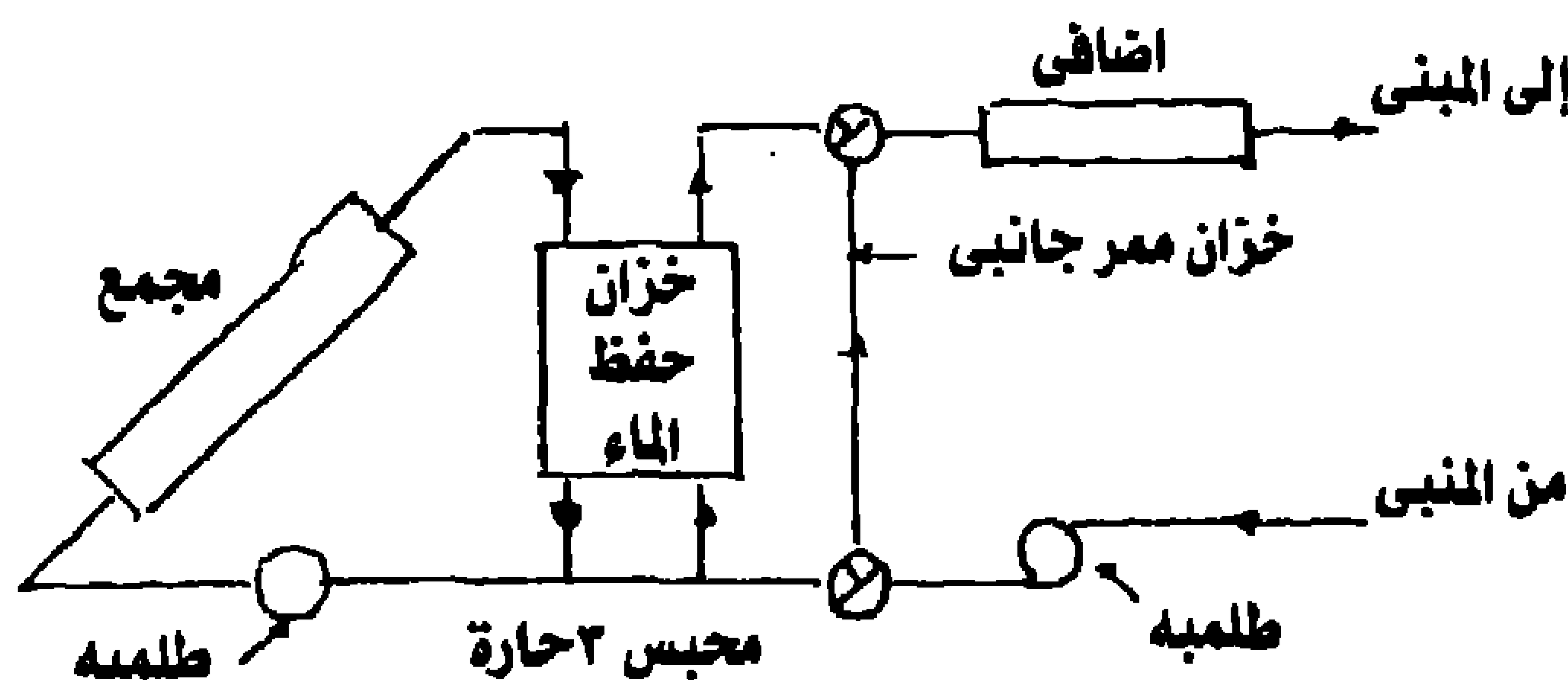


شكل (4/12) نظام التسخين الشمسى بنقل الحرارة بالهواء

النظام الأساسى للماء الساخن : (Basic Hot water system)

الشكل (12/5) هو مخطط للنظام الأساسى للماء الساخن، مع خزان حفظ الماء والتخزين الإضافى للطاقة.

النظام مصمم بما يسمح بالتحكم المستقل للمجمع وجزء التخزين على جانب، وتخزين الحمل الإضافى على الجانب الآخر. الماء الساخن بالطاقة الشمسية يمكن إمداده للتخزين فى نفس الوقت مثل إزالة الماء الساخن من التخزين لتدويره نحو الحجرة. خط التمرير الجانبى عبر التخزين يتم توفيره بحيث أنه عند عدم توفر الطاقة الشمسية وشح التخزين فإن الماء الدوار يمر بعيداً عن (By pass) حوض التخزين. التسخين الغير ضرورى والغير اقتصادى للتخزين بواسطة المصدر الإضافى يتم الاستغناء عنه عندئذ. لاحظ أن خط مرور جانبى مشابه يمكن توفيره كذلك عبر طبقة التخزين من الحبيبات الزلطية لنظام تسخين الهواء الأساسية.



شكل (5/12) مخطط لنظام الماء الساخن الاساسى

المميزات :

1- فى حالة تسخين الماء يستخدم الماء كوسط انتقال حرارى ووسط تخزين، هذا يجنب هبوط درجة الحرارة أثناء انتقال الطاقة إلى التخزين ومن التخزين.

2- ويتطلب كذلك حجم تخزين صغير نسبياً.

3- يمكن تبنيه بسهولة لإمداد الطاقة إلى مكيفات امتصاص الهواء.

4- متطلبات الطاقة منخفضة نسبياً لضخ مائع انتقال الحرارة.

العيـوب :

1- يوجد احتمال تجمد الماء فى المناخ البارد، يجب تجنبه بالوسائل التى تم تناولها فى سخانات الماء.

2- نظام التسخين الشمسى للماء من المحتمل أنه سوف يعمل عند درجات حرارة منخفضة مقارنة بنظم المياه التقليدية وبذا يتطلب مسافة انتقال حرارة إضـــافية أو وسائل مكافئة للانتقال إلى القيمة.

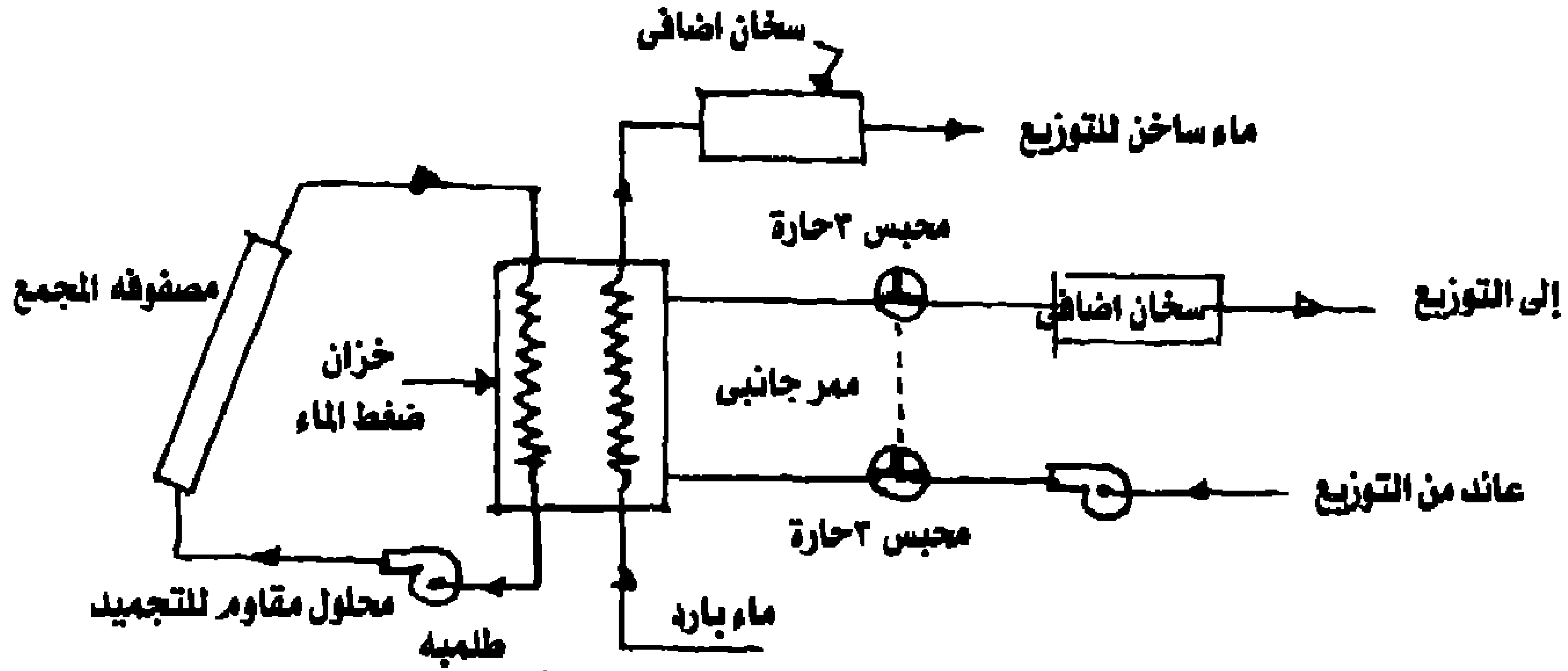
3- سخان الماء يمكن كذلك أن يعمل عند درجات حرارة عالية (وتحديداً فى الربيع والخريف) ويجب توفير الوسائل لإزالة الطاقة وتجنب الغليان وزيادة الضغط.

4- تخزين المجمع (Collector storage) يجب تصميمه للتسخين الزائد خلال فترة عدم إزالة الطاقة.

5- يجب الحرص نحو تجنب مشاكل التآكل.

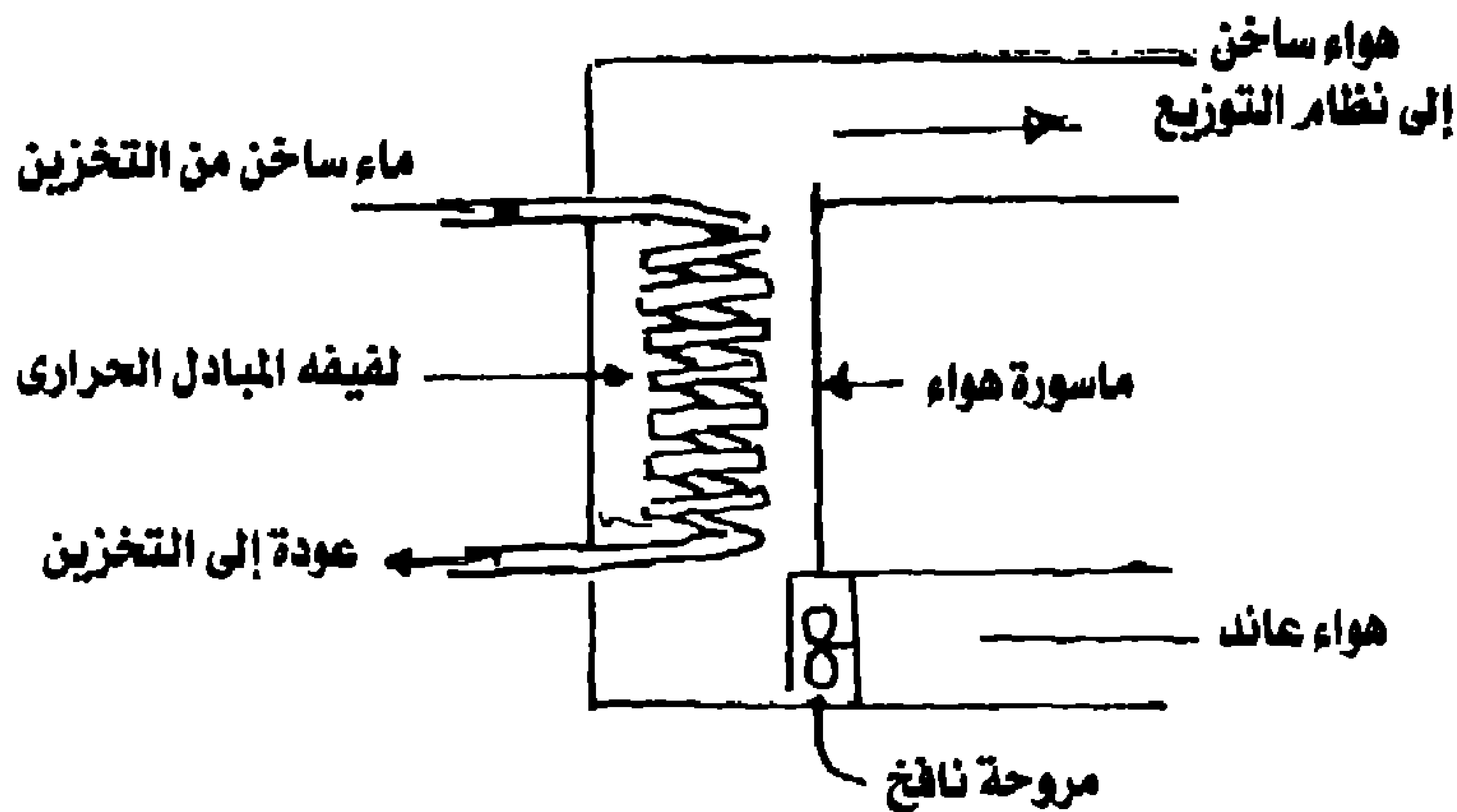
التدفئة الفراغية ونظم تسخين المياه :

تم اقتراح العديد من المفاهيم المختلفة (واختيارها) لاستخدام الطاقة الشمسية فـــى التدفئة الفراغية للمبانى. الخطوط العامة لنظام التدفئة الفعال والنـــشط بمجمـــع اللـــوح المستوى المائل الوجود على سقف المبنى موضح فى الشكل (6/12).



شكل (6/12) نظام التدفئة الفراغية الشمسية والماء الساخن

فى هذا النظام، وسط الانتقال الحرارى عبارة عن محلول مضاد للتجمد فى دائـرة مغلقة مع لفة مواسير (Coil) المبادل الحرارى فى حوض التخزين. الحرارة تنقل إلـى الماء فى حوض التخزين الموجود عادة فى جزء المبنى السفلى (البدروم). الماء الـذى تم تسخينه بالطاقة الشمسية، من الخزان يمر خلال سخان إضافى، والذى يحضر آليـاً عند نزول درجة حرارة الماء إلى دون مستوى سابق تحديده. للتدفئة الفراغية، المـاء يمكن ضخة خلال المشع (الذى يتكون من شبكة من الأنابيب للتدفئة المنزليةRadiator) أو يمكن استخدامه لتسخين الهواء فى المبادل الحرارى من الماء إلى الهواء كما هـو موضح فى الشكل(7/12) أو تدوير الماء خلال أجهزة الإشعاع (Radiators) فى المبنى لتسخينه ثم العودة إلى خزان الحفظ. نظام الإمداد بالماء الساخن، مع السخان الإضافى الخاص به، يكون مستقلاً عن نظام التدفئة الفراغية.



شكل (7/12) ماء إلى نظام تسخين الهواء

خلال العمل العادى، يتم وضع المحابس ذات الثلاث مسارات لتسمح بالماء الذى تم تسخينه للتدفق من حوض التخزين والسخان الإضافى إلى نظام التوزيع ثم العودة إلى الحوض. إذا كان بعد عدة أيام من الغمام والسحب حدث خفض فى تخزين الحرارة، فإن المحابس يتم ضبطها آلياً للتمرير الجانبى لحوض التخزين. بهذه الطريقة التسخين الإضافى لحجم كبير من الماء فى الحوض يكون التدوير ممنوعاً للمحلول المضاد للتجمد والمبادل الحرارى المصاحب يحدث فقط عند إتاحة الطاقة الشمسية. إذا كانت درجة الحرارة فى مجمع المواسير عند قمة المجمع الحرارى سوف تهبط إلى أدنى تلك عند قاع الخزان، فإن الطلمبة (التى عند القاع الأيسر للشكل (6/12) سوف يتم إيقافها آليا).

عندما يكون الماء، بخلاف المضاد للتجمد، يمكن أن يعمل كوسط للانتقال الحرارى، فإن الماء الساخن بالطاقة الشمسية من المجمع يمكن أن يذهب مباشرة إلى التخزين.الموقف عندئذ يكون مشابهاً لذلك السابق وصفة للنظام المستخدم للهواء كوسط انتقال حرارى. الماء الذى تم تسخينه يمكن ضخة مباشرة إلى نظام التوزيع، مع المرور الجانبى بعيداً عن حوض التخزين، إذا كان ذلك ضرورياً.

فى النظام المولد الهجين (Hybrid system) يستفاد بخاصية الانتقال الحرارى الجيدة للماء (أو محلول مضاد للتجمد) وتأثير الهواء للتدفئة الفراغية. المحلول المضاد للتجمد يتم تدويره خلال خزان صغير نسبياً للفيفه مواسير المبادل الحرارى المحاطة بالخزان الضخم للقطع الحجرية الهواء للتوزيع فى الفضاء الحى يتم عندئذ تسخينه بالمرور خلال الخزان الضخم.

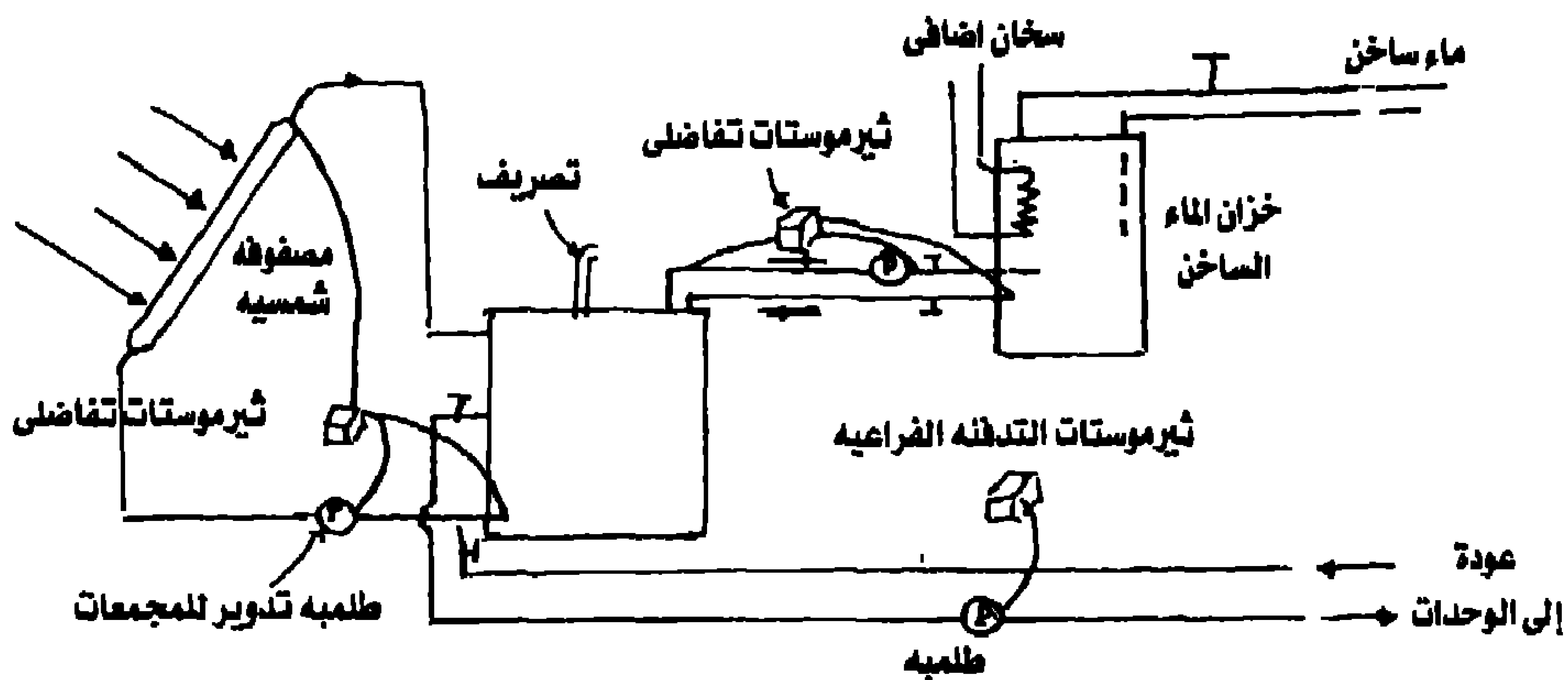
بعض التفاصيل الإضافية للتسخين الشمسى الفعال النشط ونظم الماء الساخن:

أ- نظام الماء الساخن:

تجهيزات التحكم اللازمة للنظام هى ثيرموستات تفاضلى بالحساس (Sensor) عند قمة مجموعة المجمع الشمسى وحساس آخر يوجد عند قاع حوض التخزين الحرارى، وثيرموستات تفاضلى آخر مع الحساس يوضع عند قمة حوض التخزين الحرارى وعندما قاع خزان الماء الساخن، والثيرموستات الثالث للتدفئة الفضائية. عندما تكون كثافة الإشعاع الشمسى على المجمع الشمسى كافية لتسخين مكان ماص المجمع إلى درجة حرارة أعلا عن الحساس عند قاع حوض التخزين الحرارى بالفتح التفاضلى (Turn on Differential)، فإن الثيرموستات التفاضلى يتم فتحة على طلمبة التدوير الرئيسية. هذا يعمل على تدوير الماء من قاع حوض التخزين الحرارى خلال المجمعات الشمسية. الماء الساخن من أعلا المجمعات الشمسية يتصرف نحو قمة

حوض التخزين الحرارى فوق منسوب المياه فى ذلك الحوض. عندما يكون الفرق بين درجة حرارة الحساس عند القمة المصفوفة المجمع الشمسى ودرجة حرارة الحساس عند قاع حوض التخزين الحرارى يهبط إلى أقل من القفل التفصيلى (Shut off Differential)، فإن طلمبة التدوير الرئيسية يتم توقفها، بما يسبب الصرف للماء فى مصفوفة المجمع الشمسى وعودته إلى حوض التخزين الحرارى، الذى يكون عند ارتفاع منخفض. الماسورة النازلة (Down comer) من قمة مصفوفة المجمع الشمسى إلى حوض التخزين الحرارى يجب أن يكون له ميل إلى أسفل عند كل النقط ليسمح للهواء من الجزء العلوى لحوض التخزين الحرارى ليدخل الماسورة النازلة بدون أن يصبح محتجزاً. لذلك وفى خلال دقائق قليلة بعد توقف طلمبة التدوير الرئيسية، فإن الهواء من قمة حوض التخزين الحرارى يدخل مصفوفة المجمع الشمسى مع صرف المياه من مصفوفة المجمع الشمسى والعودة خلال طلمبة التدوير إلى قاع حوض التخزين الحرارى. بهذه الطريقة فإن مائع الانتقال الحرارى يتم إزالته من مصفوفة المجمع بينما لا يزال ساخن نسبياً. بالإضافة إلى أن الحماية ضد التجمد قد تأكدت.

كما هو موضح فى الشكل (8/12) إذا كان ثيرموستات تسخين الفضاء تحول إلى التسخين، فإن طلمبة تسخين الفضاء تبدأ فى العمل، حيث يحدث تدوير للماء الساخن من الجزء العلوى لحوض التخزين الحرارى إلى وحدات تسخين الفضاء، والتى يمكن أن تتكون من مشعات (Radiators) الماء الساخن، ووحدات لوح القاعدة أو وحدة لفة المواسير المزودة بزعانف (Finned coil) فى الفرن التقليدى. الماء الأكثر برودة من وحدة تسخين الفضاء يتم عودته إلى قاع حوض التخزين الحرارى و/أو المنظومة الشمسية. إذا كانت درجة الحرارة فى الجزء العلوى لحوض التخزين الحرارى منخفضة جداً لتوفير فضاء التسخين الكافى، فإنه يمكن استخدام مصدر حرارة إضافى.



شكل (8/12) تجميع وتوزيع الحرارة بنظام تسخين الماء

إذا كانت شدة الإشعاع الشمسى لمصفوفة المجمع غير كافية لعمل المجمع الشمسى، فإن طلمبة التدوير الرئيسية يتم إيقافها. إذا كانت درجة حرارة الماء الذى تم تسخينه بالطاقة الشمسية فى حوض التخزين الحرارى مرتفعة بالقدر الكافى، فإن تدفئة الفضاء يمكن توفيره من التخزين. فى هذه الحالة ثيرموستات الحجر طالب بتدفئة الفضاء. طلمبة تدوير تدفئة الفراغ تضخ الماء من الجزء العلوى لحوض التخزين الحرارى خلال وحدات التسخين فى المبنى، والماء الأكثر برودة من وحدات التسخين يعود إلى الجزء السفلى لحوض التخزين الحرارى. بهذه الطريقة فإن الطاقة الحرارية يتم انتقالها من حوض التخزين الحرارى إلى الفراغ المكيف. هذه هى الطريقة العادية لتدفئة الفضاء ليلاً. النظم الفعالة النشطة لها ميزة تفوق النظم الغير فعالة والغير نشطة فى أنها تقدم تحكم أكبر كثيراً من النظم الغير نشطة حيث تقدم تحكم كبير فى الطاقة الحرارية، تضاف الحرارة إلى الفضاء المكيف طبقاً للكمية المطلوبة لاستمرار درجة حرارة داخلية ثابتة.

خلال النهار، كمية الطاقة الحرارية المتاحة من مصفوفة المجمع قد تزيد عن متطلبات التدفئة الفراغية، حيث فى هذه الحالة يقوم ثيرموستات التدفئة الفراغية بإيقاف طلمبة تدوير التدفئة الفراغية بينما طلمبة التدوير الرئيسية تستمر فى تدوير المياه من قاع حوض التخزين الحرارى خلال مصفوفة المجمع الشمسى ثم العودة إلى حوض التخزين الحرارى.

لتشغيل هذا النظام، فإن طلمبة التدوير الرئيسية يجب أن تكون قادرة على بناء ضغط يساوى فرق الارتفاع بين منسوب الماء فى حوض التخزين الحرارى وأعلا نقطة على مصفوفة المجمع الشمسى. بهذه الطريقة يمكننا الحصول على التدفئة الفراغية بينما تعمل المجمعات الشمسية والتدفئة الفراغية حيث لا تعمل المجمعات، وجمع وتخزين الطاقة الشمسية حيث لا توجد الحاجة إلى التدفئة الفراغية. الماء الساخن للاستخدام المنزلى أو لاستخدام آخر يمكن تسخينه فى أى وقت عندما يكون الماء فى حوض التخزين الحرارى ساخناً. فى الاستخدام المنزلى أو التجارى حيث تستخدم المياه الساخنة فى الغسيل، الطهى واستخدامات أخرى خاصة بالإنسان، عادة لا يكون متاح استخدام الماء مباشرة من حوض التخزين الحرارى. لذلك، فإنه يتم تسخين الماء بضخ المياه من حوض التخزين الحرارى خلال المبادل الحرارى فى خزان الماء الساخن. طلمبة التدوير تعمل بواسطة الثيرموستات التفاضلى.

ب- نظم مجمعات تسخين الهواء: Air Heating collector systems

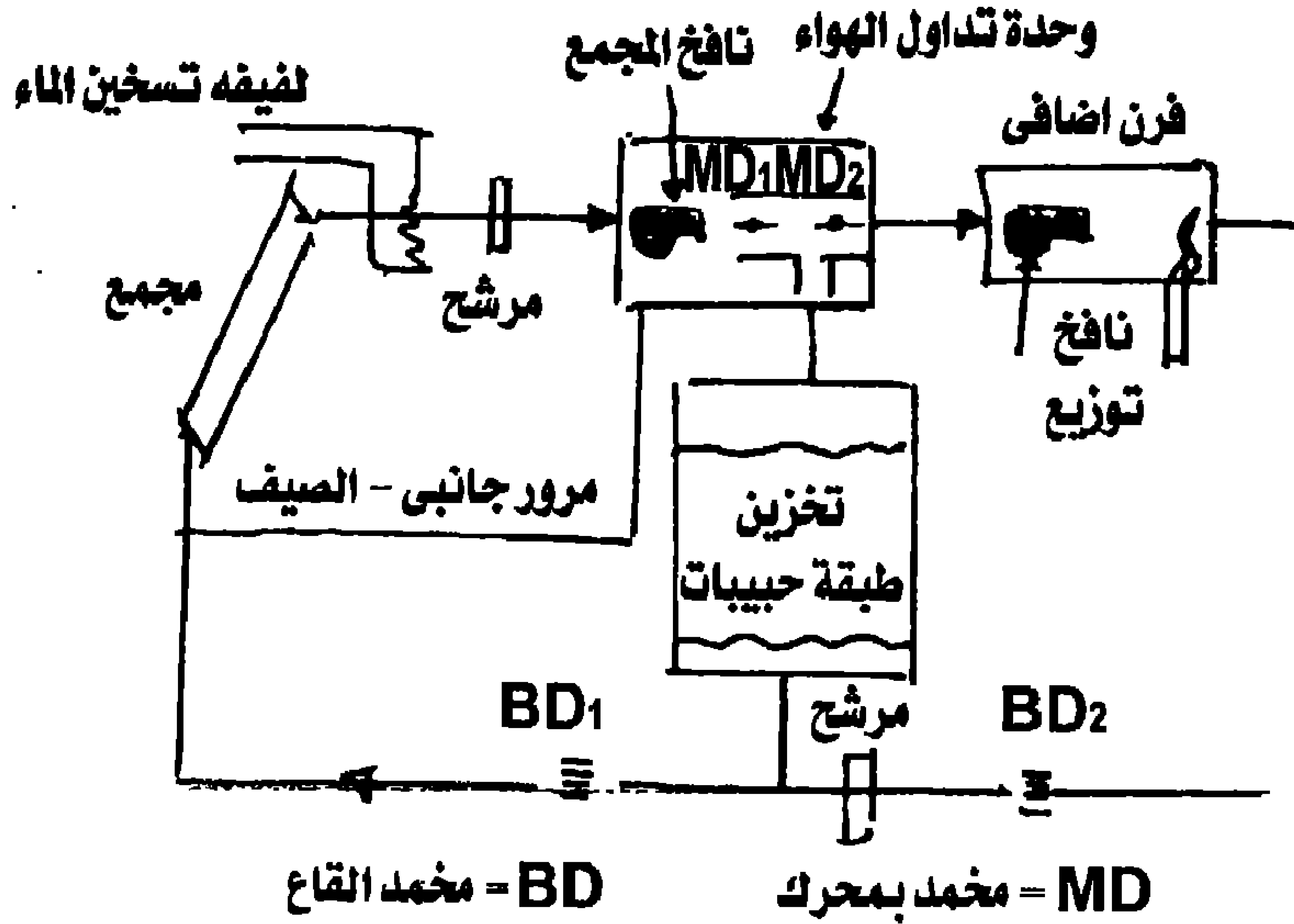
نظم التسخين الشمسى يمكنها كذلك استخدام مجمعات تسخين مع تخزين حرارى فى صندوق من الأحجار (حبيبات زلطية). معدل تدفق الهواء خلال المجمعات النموذجى هو 0.6 متر مكعب، الدقيقة - متر مربع من فتحة المجمع. خلال النهار

الهواء الساخن من المجمعات الشمسية يمكن دفعه خلال مسارات مباشرة نحو الفضاء المكيف بدون المبادلات الحرارية اللازمة للنظم السائلة. حيث أن الهواء له حوالى 25% فقط من الطاقة الحرارية للماء، فإن ارتفاع درجة الحرارة للهواء المتدفق خلال المجمع يكون عموماً أكبر فى حالة الأساس من الهواء عنه فى حالة نظم المياه الشمسية. ولكن، نظراً لأن الهواء الداخل يتم سحبه مباشرة من المنزل، فإنه درجة حرارته تكون أقل فى المتوسط مقارنة بدرجة حرارة الماء من حوض التخزين الحرارى نظم التسخين بالمائع/ بالماء.

الوعاء المحتوى على قطع زلطية متجانسة الحجم (النموذجى بقطر 5 – 10 سم) يعمل كنظام تخزين حرارى ثانوى جيد لنظام التسخين الشمسى المبنى على استخدام الهواء. مع مرور الهواء الساخن من المجمعات إلى أسفل خلال القطع الزلطية، فإن القطع الزلطية العليا تصبح ساخنة تقريباً مثل الهواء من المجمعات، بينما الأحجار الزلطية القريبة من القاع تظل أكثر برودة. التصنيف الحرارى الناتج خلال الوعاء يسمح بإزالة الحرارة عند نفس درجة الحرارة تقريباً التى عندها تم تخزينها. فمثلاً، إذا كانت طبقة الحبيبات الزلطية كانت أولاً عند درجة حرارة متجانسة 20°م، والهواء الداخل من أعلا عند 60°م، بينما الهواء الذى يتم صرفة من القاع يكون عند 20°م. لحين الوصول إلى طاقة التخزين الهواء للطبقة الزلطية فإن درجة حرارة الهواء التى تعود إلى المجمع تكون هى نفسها كما لو كانت عائدة من المنزل.

يتم صرف الحرارة من وحدة التخزين بانعكاس تدفق الهواء، بحيث أن الهواء البارد اللازم تسخينه يدخل قاع الحيز ويتدفق إلى أعلا خلال الوعاء. فمثلاً، إذا كان الهواء داخلاً عند القاع عند درجة حرارة 20°م وأن الجزء العلوى لطبقة القطع الزلطية تم تسخينة إلى 60°م تقريباً، عندئذ ومع مرور الهواء خلال المنطقة الأكثر سخونة من الطبقة فإنه يتم تسخينه إلى درجة حرارة أقل قليلاً من درجة حرارة القطع الزلطية الساخن. لذلك، فإن درجة حرارة الهواء الموجود فى الطبقة الزلطية تكون قريبة من 60°م. مع استمرار دورة الصرف، فإن المنطقة الانتقالية بين القطع الزلطية الاكثر سخونة والأكثر برودة تتحرك إلى أعلا، بحيث أن عمق المنطقة الساخنة للقطع الزلطية يقل. وفى حالة نفاذ الطاقة الحرارية المخزنة فى الطبقة الزلطية فإن كل الطبقة الزلطية تصبح عند 20°م. النموذج المثالى للطبقة الزلطية ذات التقسيم العمودى للتخزين الحرارى تحتوى حوالى 24 كيلو جرام من الأحجار الزلطية لكل 0.093 متر مربع من فتحه المجمع أو 250 كيلو جرام من الأحجار الزلطية لكل متر مربع من فتحه المجمع الشمسى (Collector Aperature).

الشكل (9/12) يبين نموذج لنظام التسخين الشمسي للهواء بالتسخين المباشر من المجمعات الشمسية. في هذه الحالة توجد حاجة للتدفئة خلال المبنى خلال الوقت حيث كثافة الإشعاع الشمسي على المجمعات تكون كافية لتحقيق متطلبات التسخين والتدفئة هذه. النظام يحتوى عدد اثنين من أجهزة نفخ الهواء (Blower)، وهما نافخ الجامع الشمسي ونافخ الموزع، والذين هم مناظرين لطلمبات المجمع والموزع في نظم المياه. في طريقة التسخين المباشرة، يعمل كلاً من النافخين مع دفع الهواء من المبنى مباشرة إلى المجمعات الشمسية والهواء الساخن من المجمعات يتم تدويره إلى الفرن للتوزيع. إذا كان الهواء من المجمعات الشمسية ساخناً بما يكفي لتدفئة المبنى، فإن مصدر الحرارة الإضافي يظل مغلقاً. في طريقة العمل هذه تكون طبقة التخزين الزلطية ليست مشحونة أو غير مشحونة. نظام التسخين الهوائي يستخدم مثبطات تعمل بالمحرك (Motorized dampers) لتوجيه تدفق الهواء، كما تعمل النظم المائعة في استخدام المحابس.في طريقة التسخين المباشرة يتم فتح كلا المثبطين العاملين بمحرك في وحدة تداول الهواء وذلك للسماح لتدفق الهواء نحو الفرن للتوزيع. يمكن كذلك تسخين الماء بهذا النظام للتوزيع بواسطة وحدة لفات المواسير ذات الزعانف (Finned coil Unit) في ماسورة مخرج المجمع.



شكل (9/12) التسخين مباشرة من المجمع بنظام التسخين الشمسي للهواء

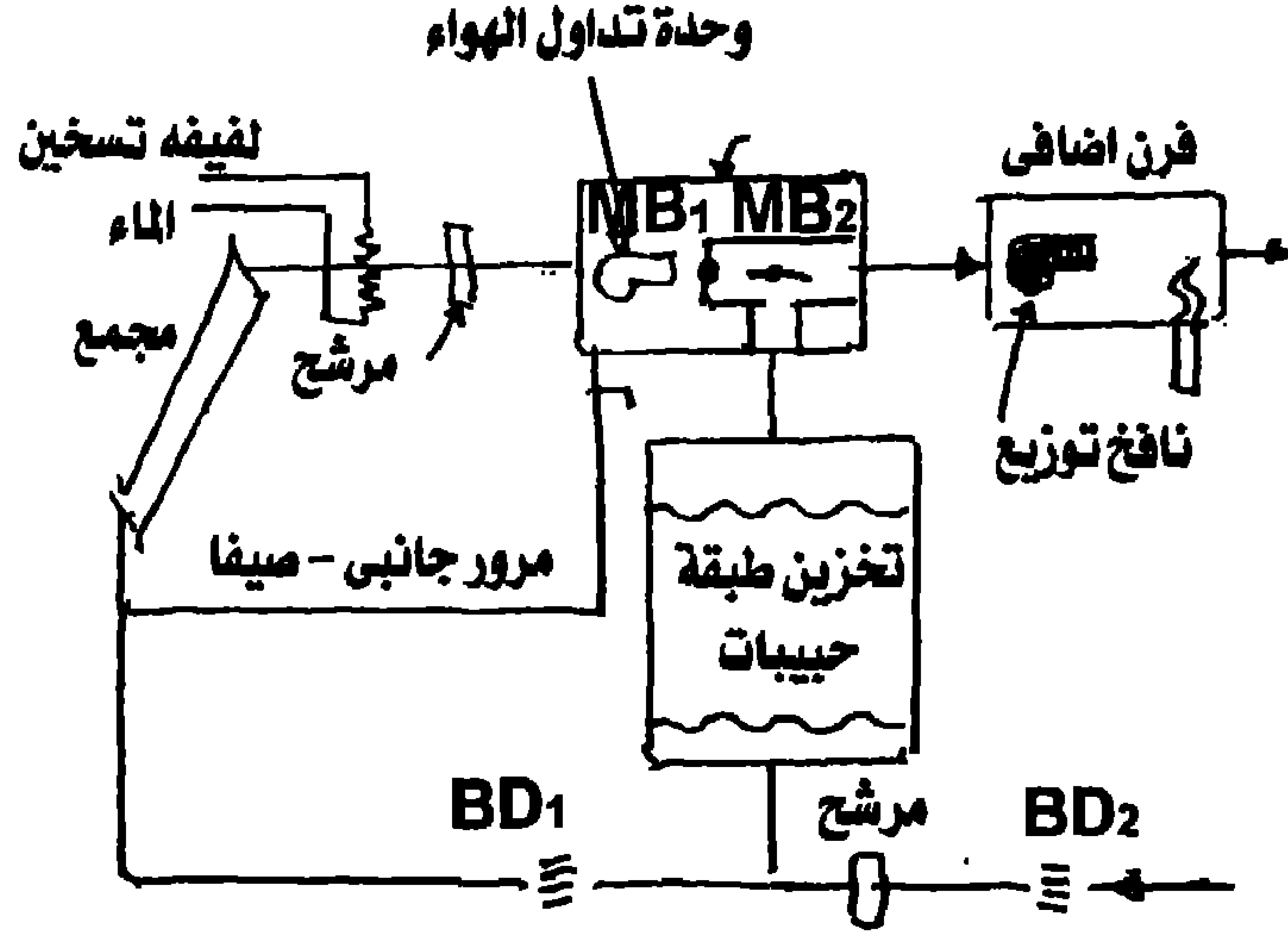
عندما تكون كثافة الإشعاع الشمسى على مصفوفة المجمع تكون كافية لجمع حرارة مفيدة ولكن لا توجد حاجة للتدفئة فى المبنى فى ذلك الوقت، فإن نافخ المجمع يتم فتحة ولكن نافخ التوزيع يظل متوقفاً شكل (10/12).

لفيفه تسخين
الماء
مجمع
مرشح
MD1 MD2
سخان
نافخ توزيع
ممر جانبى - صيفا
تخزين
طبقة حبيبات
مرشح
BD1
BD1

شكل (10/12) تخزين الحرارة من المجمعات بنظام التسخين الشمسى للهواء

كذلك يتم غلق المثبط بالمحرك نحو الفرن، لتوجيه تدفق الهواء من المجمعات الشمسية إلى أسفل نحو طبقة التخزين الزلطية. بهذه الطريقة يتم تخزين الحرارة فى وعاء القطع الزلطية. هذه الطريقة يمكن أن تستمر حتى تمام تجانس التسخين للحبيبات الزلطية فى الطبقةالزلطية إلى درجة حرارة قريباً من درجة حرارة مخرج المجمع، حيث فى هذا الوقت يقال أن وحدة التخزين قد أصبحت مشبعة، حيث لا يمكن تخزين طاقة حرارية إضافية.

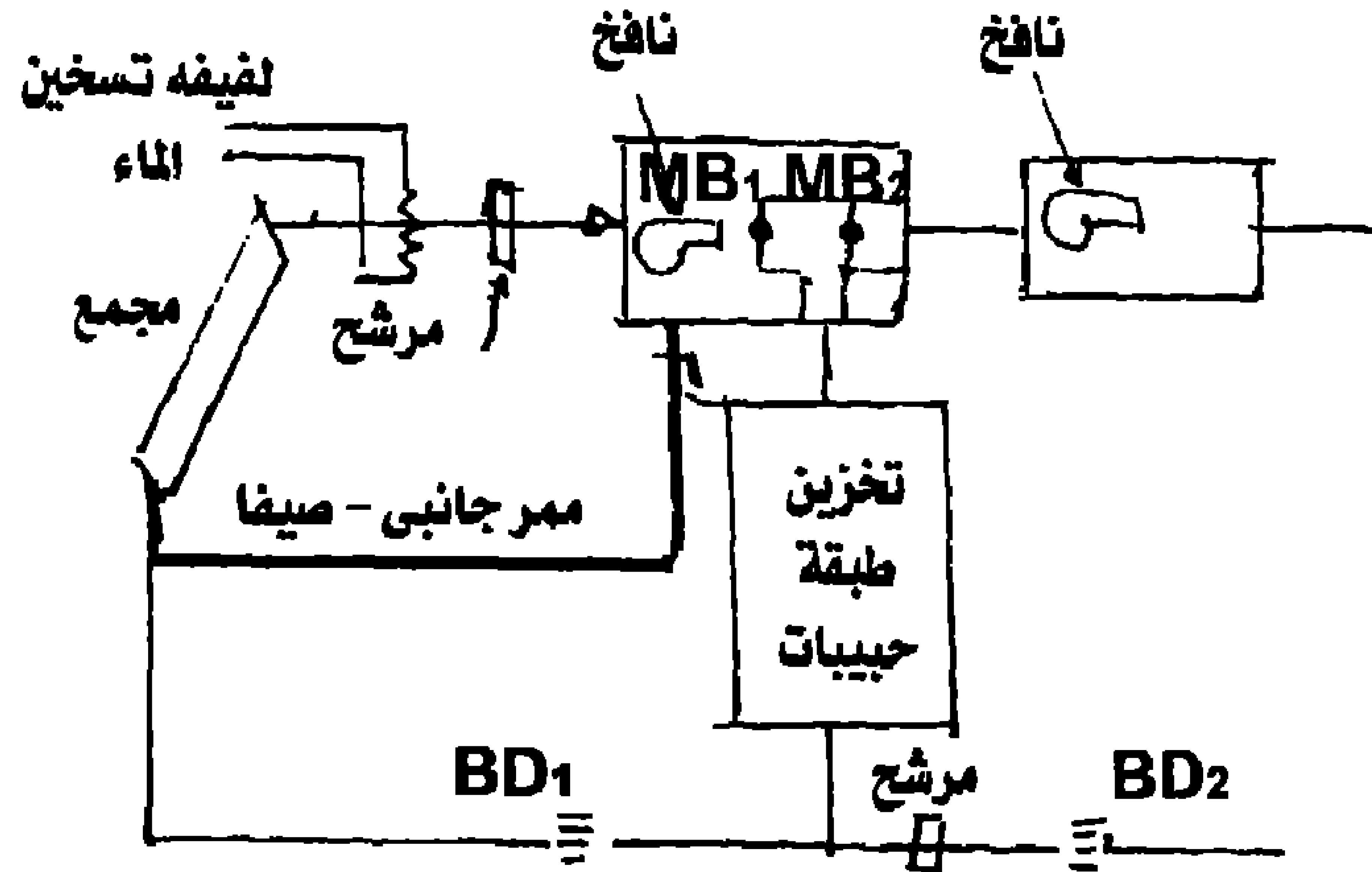
فى الوقت عند لا تكون كثافة الإشعاع الشمسى على المجمعات الشمسية غير كافية لتجميع الحرارة المفيدة (فى خلال الليل، وأيام الغيوم) وحيث يكون هناك حاجة للحرارة فى نفس الوقت، فإنه يتم استخلاص الحرارة من وحدة تخزين الطبقة الزلطية بقفل المثبط الأول الذى يعمل بمحرك وتشغيل نافخ التوزيع لتدوير الهواء من المبنى إلى أعلا خلال وحدة تخزين الطبقة الزلطية ثم العودة إلى نظام التوزيع للمبنى. هذا ينتج عنه درجة حرارة هواء للتوزيع التى أقل قليلاً عن درجة حرارة الهواء من المجمع بينما يتم تخزين الحرارة الشكل (11/12).



شكل (11/12) التسخين من التخزين بنظام
التسخين الشمسى للهواء

هذا الشكل يوضح نظام عمل التسخين الشمسى بالهواء حيث تتم تدفئة المبنى من التخزين. هذه العملية سوف تستمر لحين قرب نفاذ الطاقة الحرارية المخزنة، حيث فى ذلك الوقت يمكن تشغيل مصدر التدفئة الإضافى لاستمرار تدفئة المبنى. أجهزة النفخ والتثبيط تظل فى وضعها السابق للتسخين الإضافى، لذلك مهما كانت طاقة حرارية مفيدة فى الطبقة الزلطية يمكن الاستمرار فى استخلاصها مع تسخين الفرن للهواء من الطبقة الزلطية إلى أى درجة حرارة مطلوبة للتدفئة الفراغية المؤثرة للمبنى.

إذا كانت وحدة التخزين الحرارى مشبعة ولا توجد حاجة للحرارة، فإنه يتم الاستمرار فى جمع الحرارة بانتظام واستخدامها فقط فى تسخين المياه الشكل (12/12) سفلى. هذا النظام يعمل بطريقة تسخين الماء المنزلى فى الصيف حيث لا توجد حاجة للتدفئة الفراغية.



شكل (12/12) تسخين الماء للتوزيع بواسطة نظام التسخين الشمسى للهواء، عادة العمل فى الصيف

بعض الأمثلة للمنازل الشمسية :

الآتى المنازل الشمسية الهامة فى العالم المستخدمة للنظام النشط:

1- استخدام المجمعات بتسخين الهواء التى تواجه الجنوب العمودية.

2- تصميم نظام تسخين الهواء باستخدام مجمعات اللوح الزجاجى المتطابقة ومبادلات من الصخر لتخزين الطاقة.

3- نظام تسخين الماء باستخدام خزانات حفظ الماء ذات طاقة كبيرة حيث تحاط الخزانات بطبقة صخرية لإضافة التخزين وكذلك كمساحة انتقال حرارى.

4- تم تصميم منزل شمسى فى نيويورك باستخدام الخلايا الفوتوفولتية كجزء من سطح امتصاص الطاقة فى الأجزاء لدرجة الحرارة المنخفضة لسخانات الهواء باللوح المستوى.

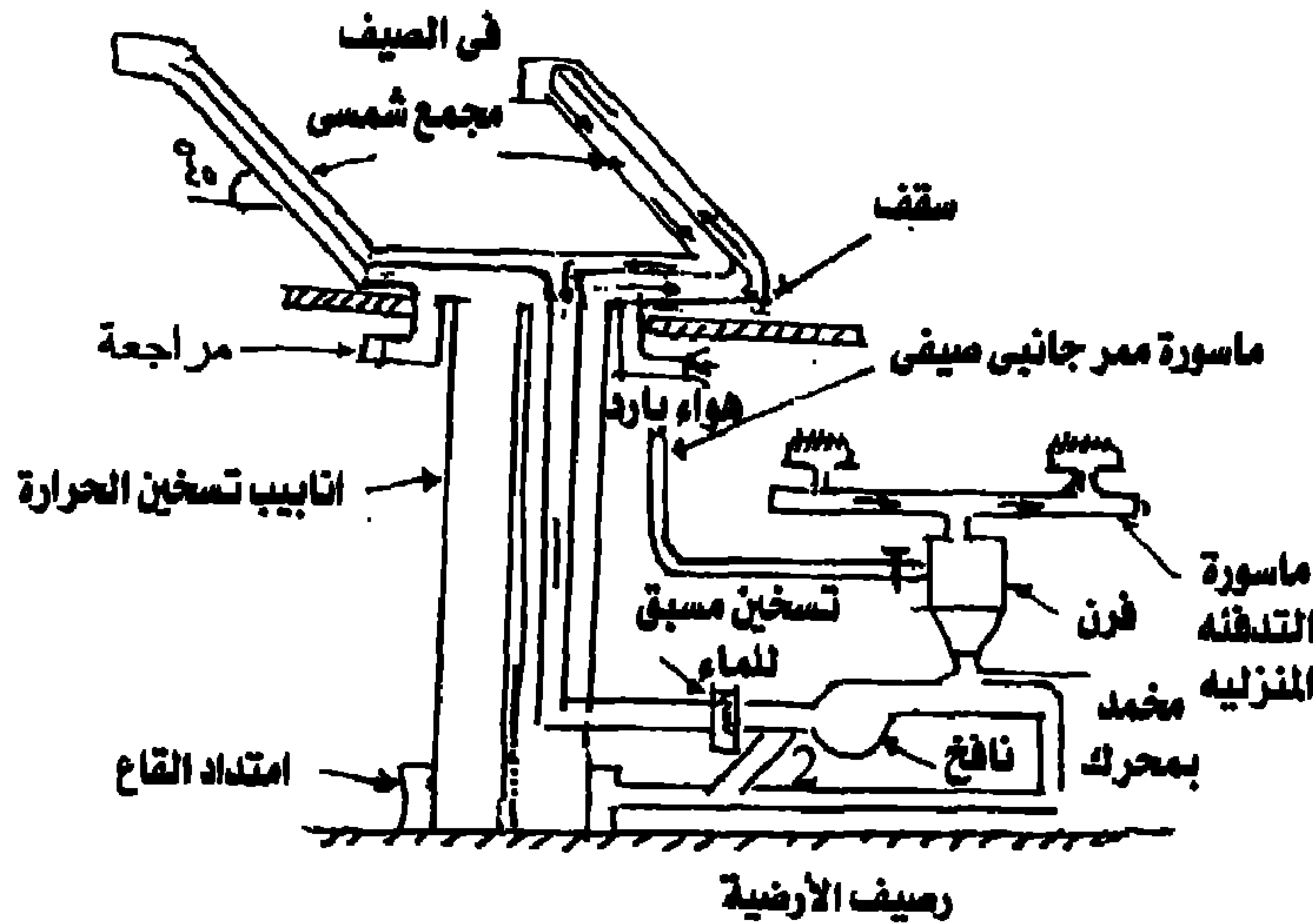
لتوضيح نظم التسخين بالهواء أو بالماء الآتى مثال للمنزلين:

1- منزل الشمس فى دنفر: (Denver solar House)

منزل دنفر تم بناؤه من عام 1959 إلى عام 1960 بواسطة (Dr. G. Lof) وهو واحد من الرواد فى تحرك الطاقة الشمسية. المنزل استخدم سخان الهواء، وحدة زلطية للتخزين وفرن غاز طبيعى كمصدر إضافى. المنزل له مساحة أرضية حوالى 195متر مربع ومساحة بدروم سفلى 102 متر مربع. حمل التصميم الحرارى تم حسابه ليكون

27350 كيلو كالورى فى الساعة (114500 كيلو جول/الساعة) عند درجة الحـــرارة المحيطة -18^{o}م وسرعة رياح 3.9 متر فى الثانية.

هذا المنزل الشكل (13/12) استخدم اثنين من السخانات الطويلة، مركبين خــلال حاجز السقف فوق السقف.السخانات تستخدم مبدأ لوح الزجاج المتطابق، الذى اخترعه د. لوف خلال الحرب العالمية الثانية. المجمعات كانت فى صفين، مائلة إلى أعلا مــن السقف المستوى بزاوية 45^{o}. المساحة الكلية للمجمع الشمسى = 55.7 متر مربع وبعد السماح لإطارات المجمع فإن مساحة المجمع المؤثرة = 49.2 متــر مربــع. المجمـــع يستخدم ألواح الزجاج، حيث الجزء العلوى شفاف والجزء السفلى مطلى باللون الأسود. تم الحصول على درجة حرارة مرتفعة حتى 76.7^{o}م.



شكل (13/12) مخطط لنظام التدفئه المنزلية بالهواء

وسط التخزين هو 10.64 كيلو جرام من الصخر ذو حجم متوسط بقطــر 3ســم وحرارة نوعية 0.75 كجرام/كجرام ^{o}م. ومحتوى فى أنبوبين بالشكل الأسطوانى كــل بقطر (0.91 متر، وارتفاع 5.5 متر) حيث خلالها يتم نفخ الهواء الساخن. ماسورة نقل الهواء (Duct) تؤدى إلى أسفل خلال أحد أنابيب التخزين كوسيلة للاقتراب بين جسرى المجمع على السقف والمعدة فى البدروم.

يتم توفير بعض الطاقة الشمسية لخدمة تسخين الماء الساخن بالمبــادل الحــرارى الهواء – الماء الذى يعمل كسخان مسبق (Preheater). ميزان الحرارة المطلوبة للماء الساخن يتم عندئذ توفيرها فى السخان التقليدى باستخدام الوقود. المكونـــات الرئيـــسية

الأخرى موضحة فى المخطط، مثل النافخ، الفرن، المثبطات لتسجيل الهــواء البــارد والساخن وهكذا.

الإشعاع الشمسى يتم أحساسة بواسطة ترمومتر المقاومة المركب على لوح غفــل أبيض (Blank plate) فوق وموازى لأحد المجمعات والذى يكون مصمماً ليكون لـــه استجابة حرارية تشبه لتلك اللوح الأسود فى المجمع. ترمومتر مقاومة آخر يتم وضعه فى المخرج (أى القمة) لوحدات التخزين، ويتم تشغيل أو إيقاف الهواء نحـــو المجمــع بواسطة الاكتشاف لفرق درجة الحرارة المناسبة بين عنصرين المقاومة.

الثيرموستات فى الحجرة، الذى تستدعى الحرارة فى مثبطات التحكم المنزلى التى توجه الهواء من المجمع أو التخزين إلى المنزل، فى حالة فترة زمنية مــدتها عــشرة دقائق من تدفق الهواء من المجمع أو التخزين، ولم يتم مقابلة الحالة الذى تم استدعاءها بواسطة الثيرموستات فإن الفرن يتم توقفه. وعند عمل المجمعات، فإن الهواء الـــساخن يدخل المبنى عند الحاجة، بخلاف ذلك يذهب إلى التخزين.

فى هذا النظام الثلاث أنواع من العمل تستخدم كالآتى:

1- عندما تكون الطاقة الشمسية مرتفعة بما يكفى للتخزين والمنزل لا يحتاج إليها، فإن أجهزة التثبيط (1)، (2) يتم فتحها، يتم قفل رقم (2) ، (3). تدفق الهـــواء يكون من المجمع إلى السخان المسبق للماء، إلى النافخ إلى وحـــدة التخـــزين والعودة إلى المجمع.

2- عند حاجة المنزل إلى التدفئة ويمكن ملاءمتها مباشرة فإن مثبطـــات الطاقـــة الشمسية رقم (1) و رقم (3) تكون مفتوحة، رقم (2)، رقم (4) تكون مغلقـــة. تدفق الهواء من المجمع إلى السخان المسبق للهواء إلى النافخ، إلى الفرن إلـــى مسجلات الهواء الساخن، خلال المبنى إلى الهواء البارد تعود إلى المجمع. إذا كانت الطاقة الشمسية غير طافية لتلائم متطلبات المنزل، فإنـــه يمكـــن إمـــداد بعض الحرارة من الفرن.

3- المثبطات (Dampers) رقم (2)، رقم (3) يكونوا مفتوحين، ورقم (1) ورقـــم (4) يكونوا مقفولين، إذا كان المنزل ليتم تدفئته من التخزين، والطاقة الشمسية ليست متاحة، تدفق الهواء يكون من الحجرة إلى مسجلات الهواء الساخن خلال عودة الهواء البارد، التخزين، النافخ والفرن.

4- عند عدم وفرة الطاقة الشمسية والتخزين، فإن العملية سوف تكون كمـــا فـــى الحالة (3). للتدفئة الإضافية، بالفرن.

نتائج قياس الأداء لسنين مختلفة تم تسجيلها بواسطة العالم (Lof). تم تعريض كل المنشأ لطريقة اختبار حذرة خلال شتاء 1974 - 1975، وقد وجد أنه يوجد قليل من التلف فى أداء النظام رغم حقيقة أنه استمر فى الاستخدام لمدة حوالى 17 عام.

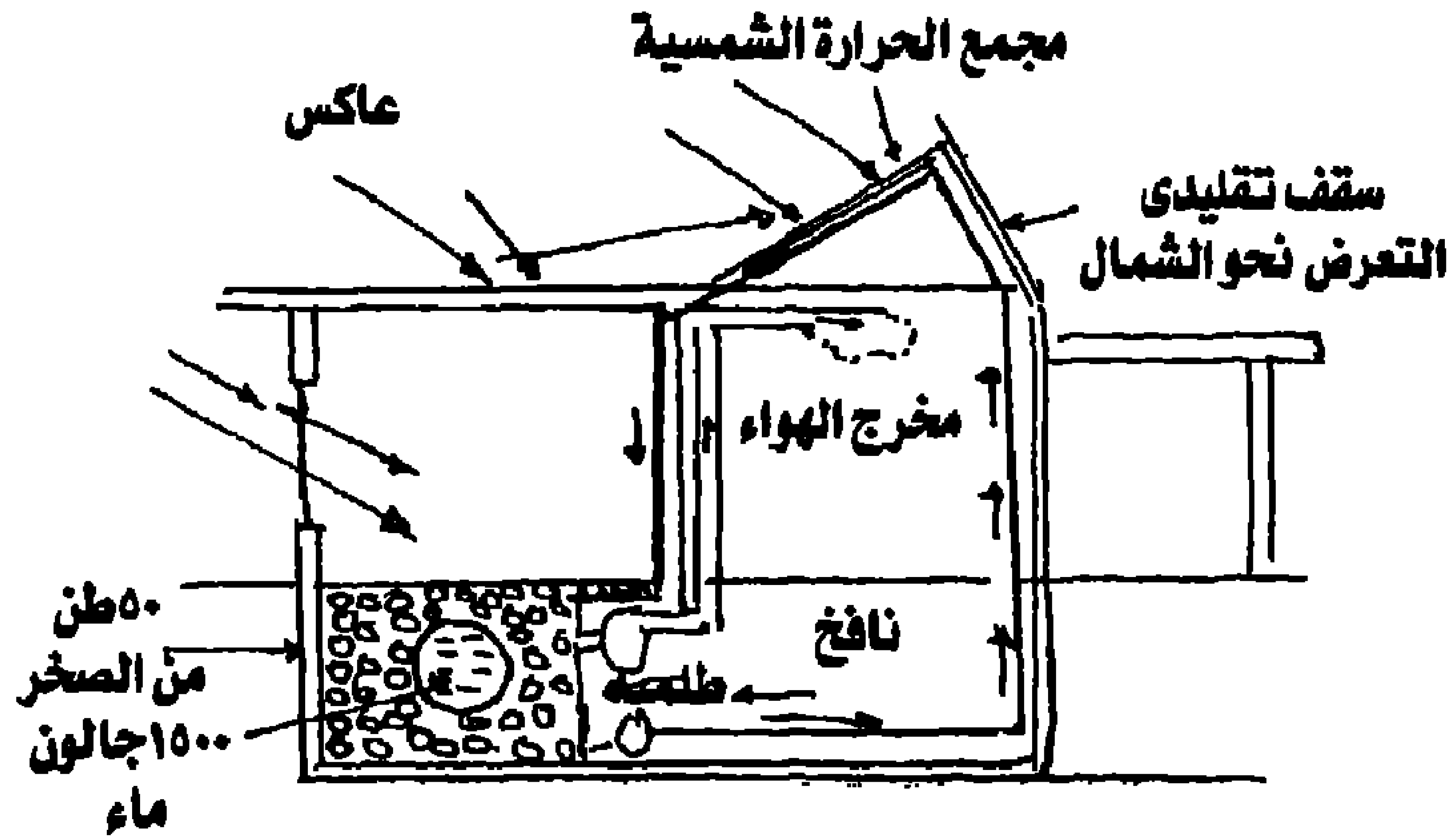
نظام طومسون للتسخين الشمسى :

Thomson Solaris solar Heating system:

من بين نظم التدفئة الشمسية الأكثر نجاحاً بالإضافة لالى بساطتها هو ذلك النظام الذى ابتدعه دكتور هارمى طومسون فى واشنطن. نظامه الشمسى استخدم جامع مفتوح التدفق (Open flow collector) المصنوع من ألواح الألومنيوم المتعرجة المطلية بطلاء أسود مانع لنفاذ الماء. استخدام غطاء زجاجى واحد، والمجمع الشمسى مركب مباشرة على سقف معزول ومانع لنفاذ المياه مع ميل حاد، ومواجهاً الجنوب. التخزين الأولى هو خزان ماء سعة 1600 جالون موجود فى بدروم المنزل وهذا محاط بحوالى 50طن من الحجر، الذى يوفر كلاً من التخزين الإضافى وكمية كبيرة من سطح الانتقال الحرارى. الحجر يتم تسخينه بواسطة السطح الخارجى للخزان والذى بدوره يتم تسخينه بالماء الذى تم تسخينه بالطاقة الشمسية. يوجد ثيرموستات تفاضلى واحد مع الحساس (Sensor) مثبت على سطح المجمع والآخر فى خزان الماء حيث يوجه الطلمبة للبدء متى كانت الشمس قد سخنت المجمع لحين درجة حرارة أعلا من درجة حرارة الماء فى الخزان.

يتم ضخ الماء إلى أنبوب التوزيع عند قمة السقف ويتدفق إلى أسفل بفعل الجاذبية خلال أحواض المجمع الشمسى. النظام مأمون الاستخدام نظراً لأن الماء يتصرف من المجمع عند توقف الطلمبة لأى سبب. عند استخدام الهواء كوسط للانتقال الحرارى ويتم تدويره بواسطة نافخ صغير. للعمل فى فصل الصيف، يستخدم نظام ضغط تبريد صغير لتبريد المياه فى الخزان. الضاغط يعمل فقط خلال فترات عدم الذروة (Off - Peax)، والهواء البارد يتم تدويره خلال المنزل خلال ساعات النهار، عندما يكون تكييف الهواء مطلوباً.

أول منزل من منازل طومسون تم بناؤه عام 1959 وكان ما لا يقل عن 20 منزل فى الاستخدام حتى نهاية 1975، فى أماكن من فلوريدا وكلورادو وإلى مينوبوليس موجودين فى أبرد أماكن الولايات المتحدة. الشكل (14/12) يبين مقطع من نظام الشمس ومجمع التدفق المفتوح.



شكل (14/12) مبدأ العمل لنظام التدفئه الشمسية

ثوماسون سولاريز

يوجد حالياً من المساكن التى يتم تدفئتها وتبريدها بالنظام الشمسى الفعال النشط. هذه تستخدم مجمعات ذات اللوح المستوى مزدوجة الزجاج ذات الأداء العالى لتسخين الماء، مائع التجمد بمادة الإيثيلين جليكول أو مادة مشابهة. فى فصل الشتاء يتم استخدام الماء مباشرة فى نظم التسخين لتلك المبانى، وفى الصيف يستخدم الماء الساخن لتنشيط نظام التبريد بامتصاص بروميد الليثيوم. كانت هناك صعوبة فى الحصول على كفاءة جمع عالية وكافية لدرجة حرارة 93.3°م ومستوى لجعل مثل هذا النظام مرغوباً من الناحية الاقتصادية فى الوقت الحالى، ولكن مع إدخال مجمعات التركيز التى تتبع الشمس باستخدام عدسات الحلقات المدرجة الخطية (Linear fresnel lens)، فإن تلك النظم وفرت الأمل فى النجاح التقنى والاقتصادى. مجمعات اللوح المستوى المواجهة للجنوب يمكنها عموماً العمل فى مجال درجة الحرارة هذه لمدة 6 ساعات فقط فى اليوم، حيث خلال الصيف، فإن المجمع المواجه للجنوب لا يستقبل كمية كبيرة من الإشعاع المباشرة. مجمع التركيز على الجانب الآخر، يمكنه التحول نحو أى اتجاه والتقاط الإشعاع الشمسى.

تصميم نظام التدفئة للمبنى:

سيتم وصف طريقة تقدير حجم النظام الشمسى، مع مراعاة الاعتبارات الآتية عند التصميم.

1- متطلبات التدفئة :

لتعيين متطلبات التدفئة للمبنى يكون من الضرورى حساب معدل الفقد الحرارى من المبنى. الفقد الحرارى يتكون من المكونات الرئيسية وهى الفقد بالانتقال خلال

الحوائط والسقف ومساحة توزيع النوافذ فى المبنى (Fenestration area) وتلك بسبب التسرب والتهوية. الطريقة الكاملة لحساب حمل التخزين تم وضعها فى دليل الأساسيات لـ (ASHRAE).

كمية الحرارة اللازم توفيرها بواسطة وحدة التسخين سواء كانت بالتسخين الشمسى أو بالتسخين التقليدى أو بهما معاً، يجب أن تساوى مجموع الفقد الحرارى خلال الحوائط، وكمية الحرارة اللازمة لتدفئة هواء التكييف، والهواء الداخل بالتسرب. إذا كانت (V) هى مقدار المتر المكعب من الهواء فى الساعة الداخلة بالتهوية والتسرب، فإن الحرارة المطلوبة التحويل هذا الهواء إلى درجة حرارة الغرفة تكون

$$q_v = C.C_p (T_{in} - T_{out}) \text{ K Cal/hr (KJ/hr)}$$

حيث:

Cp = الحرارة النوعية للهواء كيلو كالورى/ كجرام م^5

P = كثافة الهواء كجرام/م3

T_{in} = درجة حرارة الغرفة م^0

T_{out} = درجة الحرارة خارج المبنى م^0

حساب الفقد الحرارى كل ساعة خلال المنشآت عادة مبنى على حالات الاستقرار.

معدل الفقد الحرارى خلال الحائط، الشباك، أو السقف فى حالة الاستقرار هو كالأتى:

$$q_{wat} = UA (T_{in} - T_{out})$$

حيث:

U = معامل الانتقال الكلى للحرارة، لذلك فإن الحمل الحرارى الكلى على المنزل.

$$q_{total} = q_v + q_{aw}$$

أى إجمالى الحمل الحرارى الكلى = كمية الفقد الحرارى + الحرارة المطلوبة.

2- تصميم المجمع للمبنى: (Design of a collector for a building)

المعايير الهامة التى يجب مراعاتها فى تصميم المجمع الشمسى هى ميل المجمع، عدد الأغطية ومساحة المجمع.

ميل المجمع: لقد أظهرت الدراسات أن أقصى ميل للمجمع الذى يعطى كل وحدة من الحرارة بأقل تكلفة هو تقريبا خط العرض 15°. لخدمة الماء الساخن فقط، خلال العام أفضل ميل هو المساوى لخط العرض.

أفضل توجيه للمجمع هو المواجهة للجنوب.

عدد الأغطية :

أفضل عدد من الأغطية الزجاجية يتغير مع المناخ وموضح فى الجدول التالى لمختلف حالات المناخ.

شكل أفضل عدد الأغطية المجمع الشمسى:

نوع المناخ	عدد الأغطية
الصحراء الاستوائية ودون الاستوائية	1
الأرض الاستوائية ذات الحشائش	1
السهل المستوى اللاشجرى تحت المدارى	1 أو 2
الصيف الجاف تحت المدارى	1 أو 2
الرطب تحت المدارى	2
الصيف الرطب الحار القارى	2
الصيف الرطب البارد القارى	2
خطوط العرض الباردة الشمالية	3

تعيين المساحة المناسبة للمجمع الشمسى :

لا توجد قاعدة عامة حالياً لحساب أنسب مساحة للمجمع. يمكن تعيينها لكل مبنى فى كل مكان بعمل حسابات كل ساعة لمتطلبات التدفئة ثم استخدام التحليل الاقتصادى. فى حالة مثل حمل التسخين الصغير حيث لا يلزم حساب، حيث يمكن استخدام طريقة تقريبية باستخدام المتوسطات الشهرية لتناسب الحسابات اليدوية. نتيجة هذه الطريقة يجب استخدامها بحرص حيث تكون مبنية على بيانات مناخية طويلة وليست عشوائية خلال أحمال الذروة. فى هذه الطريقة كمية الطاقة التى يمكن جمعها كل شهر يتم حسابها أولاً. الحمل الحرارى للمبنى وحمل الماء الساخن لكل شهر يتم حسابه كذلك. يمكن عندئذ تعيين ما إذا كانت كمية الطاقة الشمسية كافية من عدمه لتلبية المتطلبات الشهرية، أى تقصير يتم توفيره بالتسخين الإضافى كل شهر. بهذه الطريقة يفترض أن السعة التخزينية كبيرة بما يكفى ويسع كل الطاقة التى يتم جمعها. ولكن السعة التخزينية التى يتم حسابها من المحتمل أن تكون غير اقتصادية نظراً لأنها ستكون كافية لعدة أيام

غير مشمسة ولذلك، سوف تكون كبيرة جداً، استخدام كامل ولكن فقط أوقات قليلة خلال فصل التدفئة.

تخزين الطاقة الحرارية:

كما سبق مناقشته يمكن تخزين الطاقة فى خزانات معزولة محتوية علـى وسـط تخزين حرارى. وسط التخزين يمكن أن يكون (1) الماء (2) الـصخر أو الـزلط (3) مواد غير المجال أى المواد القابلة للانصهار. استخدام الأخيرين ثبت عـدم الاعتمـاد عليه بالنسبة للتخزين عند درجة الحرارة المنخفضة. تخزين الماء يستخدم مع مجمعات الماء البارد، بينما الصخر أو الزلط يستخدم مع نظم مجمعات الهواء الساخن. الـسعة التخزينية العادية للحرارة هى حوالى ثلاث أضعاف للماء مقارنة بالهواء.

توجد أقصى كمية لتخزين الماء لوحدة المساحة من المجمع الشمسى. فـى حالـة الحجم الصغير للتخزين تكون درجة الحرارة مرتفعة والوقت الذى يمكن التخزين مـن إمداد الحرارة سيكون قصيراً. إذا كان حجم التخزين كبيراً فإن التكلفة قد تكون مرتفعة والفترة التى يتم فيها الاستخدام الكلى للتخزين ستكون صغيرة. لذلك فإنه يوجد أقـصى سعة تخزين لوحدة المساحة للمجمع. لذلك فإن القيمة المثالية هذه تكون ليس لا علاقـة بمكان المبنى والحمل الحرارى والعزل.

أفضل مائع للانتقال الحرارى للنظم الشمسية هو الماء وأسـهل طريقـة لتخـزين الطاقة الحرارية هى بتخزين الماء مباشرة فى خزان معزول جيداً. أفضل حجم للخزان المجمع اللوح المستوى هو حوالى 70 كجرام/متر المربع. فى حالة اسـتخدام الهـواء كوسط الانتقال الحرارى، فإنه يمكن تدويره مباشرة خلال حوض الزلط لتبادل الحرارة، ثم سحبه من حوض الزلط إلى المنزل، طبقاً للمطلوب للتدفئة والاستخدامات الأخـرى. التخزين حرارى المدمج من الممكن مع مادة تغير المجال مثل ملح جلوبر (Na_2So_4 , $10H_2O$).

نظم التحكم والتوزيع وتجهيزات التدفق:

المعدات لتدفئة الحجرة والتحكم، ونظم توزيع الهواء ..الخ، يجب أن يتم تصميمها لنظام التسخين الشمسى بالطريقة التقليدية. تجهيزات التحكم المناسبة تكـون مطلوبـة لتشغيل طلمبة تدوير السخان فقط بعد تمام دفئ المجمع الشمسى بمقدار كافى. كذلك يتم إيقاف الطلمبة بواسطة التحكم عندما يكون هناك إشعاعات شمسية غير كافيـة. يمكـن استخدام الثيرموستات التقليدى لإحكام متطلبات تسخين وتبريد الهواء. نظـام توزيـع

الهواء، معدة تدفئة الحجرة، الطلمبات، النافخات، المثبتات..الخ، يتم تصميمهم بالطريقة التقليدية.

تجهيزات التحكم :

النظم الشمسية تحتاج إلى العديد من تجهيزات التحكم للتحكم الآلى فى الطلمبات، والنافخات، المحابس، والنظم الفرعية الأخرى التى تجمع وتدفع الحرارة إلى التخزين وإلى المبنى. نظم التحكم ربما تكون المكونات المهملة فى النظم الشمسية، حيث يكون التأكيد على الإنشاء والتشغيل للمجمعات الشمسية ونظم التخزين الشمسى. لذلك فإن العامل الرئيسى لضعف أداء كثيراً من النظم الشمسية المقاومة كان لضعف التحكم، أو الإنشاء الغير ناسب أو المعايرة. يوجد العديد من الأمثلة لنظم التحكم التى كانت بسبب نقص المعايرة أو تلف الحساس، قد سمحت لطلمبة التدوير الرئيسية باستمرار العمل ليلاً، بذا الطرد إلى الجو الحرارة التى تم تجميعها خلال اليوم.

الوظيفة الرئيسية لنظام التحكم هى لضمان أنه سيتم تجميع أقصى كمية من الطاقة الشمسية وأنه سوف يتم إمداد أحمال التدفئة والتبريد للمبنى عند الحاجة. يمكن بسهولة فقد كل مميزات الطلاءات الانتقائية والتحسينات الأخرى فى النظام بهدف زيادة كفاءة فى حالة عدم عمل التحكم للحصول على أقصى استفادة من النظام المنشأ. فى تحليل النظم الشمسية، يفترض عادة أن أجهزة التحكم تعمل جيداً، ولكن هذا نادراً ما يحدث فى واقع الإنشاءات الشمسية.

أجهزة التحكم قد تعمل على تشغيل وإيقاف الطلمبات، أو تنظيم سرعتها. عناصر التحكم بالتشغيل والتوقف هى الأكثر أهمية بسبب بساطتها. كما سبق وصفه طلمبة المجمع الرئيسية يتم تشغيلها حيث تكون كثافة الإشعاع الشمسى بتسخين الماء فوق مستوى حالة التوقف المخالفة. يتم تأسيس التشغيل التفاضلى حيث فرق درجة الحرارة بين الماء فى قاع خزان التسخين الشمسى والمجمع الشمسى الذى يضمن أن الماء يتم تسخينه إلى درجة حرارة عالية كافية فى المجمع بحيث أن الطاقة يتم تجميعها بمعدل يزيد عن الطاقة المطلوبة لتشغيل الطلمبة. نظم التحكم الشمسى تتكون من عنصرين أساسيين، وهما مفتاح التحكم Controller، المشغل الآلى (Actuator). مثال لمفتاح التحكم هو ثيرموستات الحجرة العادى والمشغل الآلى فى تلك الحالة هو المرحل (Relay) الذى يحول الفرن إلى التشغيل أو التوقف.

تم أخذ طريقتين أساسيتين مختلفتين لإحكام نظم الطاقة الشمسية. الأول هو أخذ كل عملية تحكم واستخدام الثيرموستات التفاضلى أو الثيرموستات العادى لتمكين أو لعدم تمكين الطلبات، المحابس التى تعمل بمحرك وتجهيزات تحكم أخرى.

الطريقة الثانية تختلف أساساً عن الأولى، وهى باستخدام حاسب آلـى ميكرونـى لإحكام عملية نظام الطاقة الشمسية. والحاسب الميكرونى (Micro computer) يستقبل إشارات من الحساس الموضوع عند مختلف النقط الحساسة من النظام والـذى يقـوم بتشغيل المشغل الآلى لتنظيم الطلمبات، النافخات، المحابس التى تعمل بنظـام الطاقـة الشمسية.

أحد تجهيزات التحكم الأساسية للنظم الشمسية هو الثيرموستات منخفض الفولت ذو المرحلتين (Two stage low voltage thermostat)، والذى يستشعر درجة حـرارة هواء الغرفة وله نقطتين تشغيل للتدفئة. عندما تكون نقطة الضبط فى التحكم الآلى العليا (مثل 20°م) يتم الوصول إليها، فإن الطلمبات أو النافخات التى تـدير الحـرارة مـن التخزين أو المجمعات إلى المبنى يتم تنشيطها لإمداد التسخين الشمسى. المرحلة الثانية (مثال ≅ 18°م) بداية تشغيل الفرن التقليدى. بهذه الطريقة، يعمل الفرن التقليدى فقط إذا كانت الطاقة الشمسية غير قادرة على إمـداد احتياجـات الحـرارة للمبنـى. الثيرموستات ذو المرحلتين يستخدم عادة مع تجهيزات التدفئة التقليدية، مثل طلمبـات التى تتطلب مصدر طاقة إضافى (لفيفه التسخين الكهربى) إذا كان طلمبـة التـسخين نفسها غير قادرة على تلبية متطلبات التدفئة.

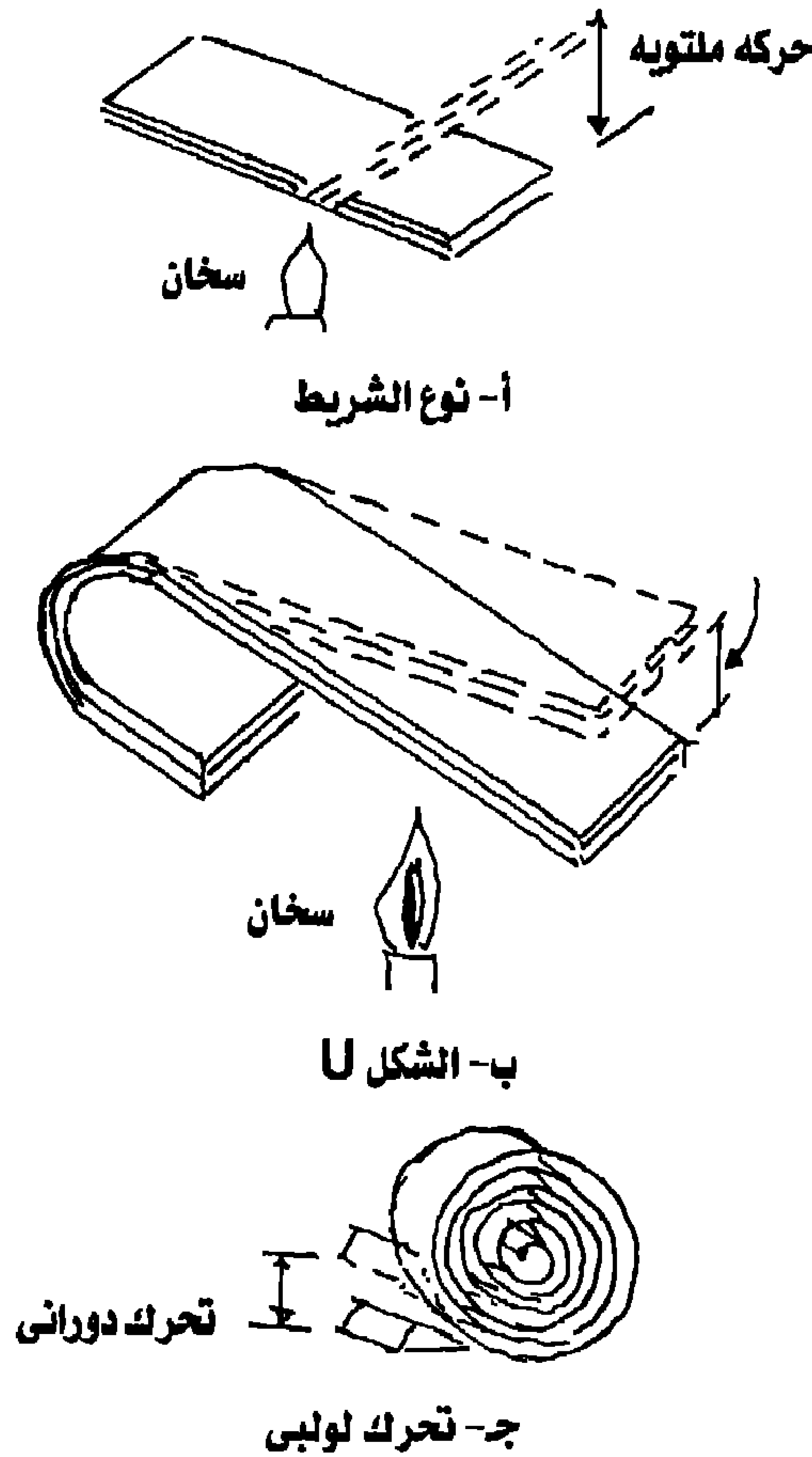
تجهيزه تحكم مفيدة أخرى هو الثيرموستات الخارجى (Out door) الذى يستـشعر درجة الحرارة خارج المبنى. الثيرموستات خارج المنزل يمكن أن يمنع وحدات التدفئة الإضافية من العمل لحين وصول درجة الحرارة الخارجية إلى مقدار معـين. سـرعة النافخ أو المروحة يمكن أن تتغير لذلك، طبقاً لدرجة الحرارة الخارجية.

ربما يكون التجهيز الأكثر استخداماً فى النظم الشمسية هو الثيرموستات التفاضلى، الذى يقيس الفرق فى درجة الحرارة بين اثنين حساس (2 sensors) وينشط المحـول. وعندما يزيد الفرق فى درجات الحرارة مقدار ما، فإنه يوجد عادة فتح وقفل تفاضـلى بحيث أنه عند بدء تنشيط المحول بواسطة الثيرموستات التفاضلى، فإن المحـول يـتم تنشيطه لحين هبوط فرق درجات الحرارة إلى دون القيمة الحالية، المعروفـة بدرجـة الحرارة التفاضلية للتوقف. توجد ثرموستات التنسيب التفاضلى لتغيير سرعة الطلمبـة بدلالة فرق درجة الحرارة بين المجمع الشمسى والماء فـى قـاع حـوض التخـزين الحرارى. إذا كان فرق درجة الحرارة صغير فإن الطلمبة تعمـل بـسرعة منخفـضة وتوفر طاقة كهربية.

ومع زيادة درجة الحرارة التفاضلية، تزداد سرعة الطلمبة. الثيرموستات التفاضلى متاح كذلك لإيقاف طلمبة التدوير الرئيسية عند زيادة درجة حرارة التخزين أو تـشغيل

طلمبة التدوير الرئيسية عند انخفاض درجة الحرارة فى المجمع الشمسى إلـــى قيمـــة معينة، ذلك يمنع حدوث التسخين الزائد لوحدة التخزين ويوفر الحماية من التجمد.

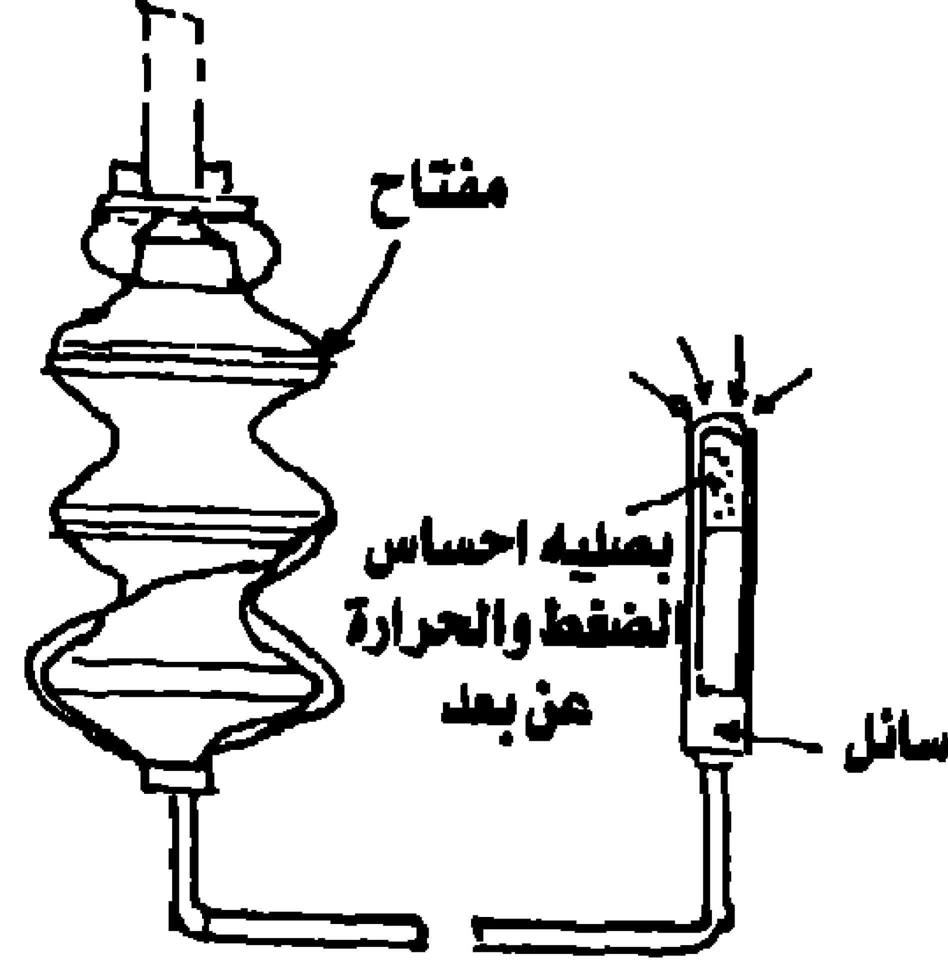
يمكن الاعتماد على جهاز الإحساس (Sensors) مقارنة بنظم الـــتحكم بالحاســـب الآلى. جهاز الإحساس هو التجهيزة التى تقيس فروق درجات الحرارة والضغط. يتكون الحساس من المعدن المزدوج (Bimetallic sensor) من شرائط من معدنين مختلفـــين مرتبطين معاً مثل النحاس والحديد، ولهم معاملات تمدد حرارى مختلفة. التغيـــر فـــى درجة الحرارة بسبب تمدد شريط المعدن وبذا يحدث التصاق كهربى. الشكل (15/12) يوضح أنواع من أجهزة الإحساس المبنى على هذا المفهوم.



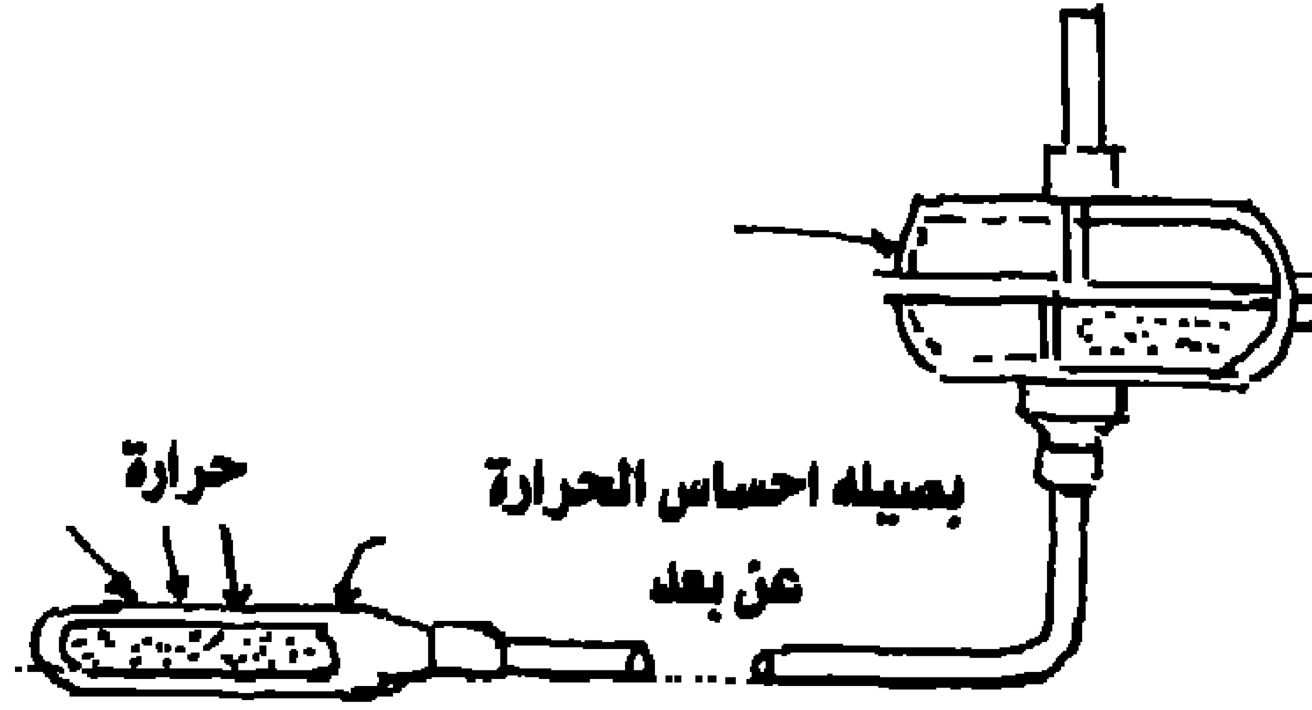
شكل (15/12) بعض أجهزة الإحساس مزدوجة المعدن (Bimetallic)

نوع الحركة الدورانية هو العادى فى جالة الثيرموستات المنزلى. أجهزة الحساس بالمفتاح (Bellows sensors) تستخدم بصيلة (Bulb) التى يتمدد منها بخـــار لامتـــداد

المنفاخ، الذى يتصل بوحدة التحكم. مثال لأجهزة الإحساس بالمنفاخ موضح فى الشكل (16/12).



أ- نظام الاحساس - السائل - البخار الممتلئ



ب- نظام الاحساس السائل- الممتلئ

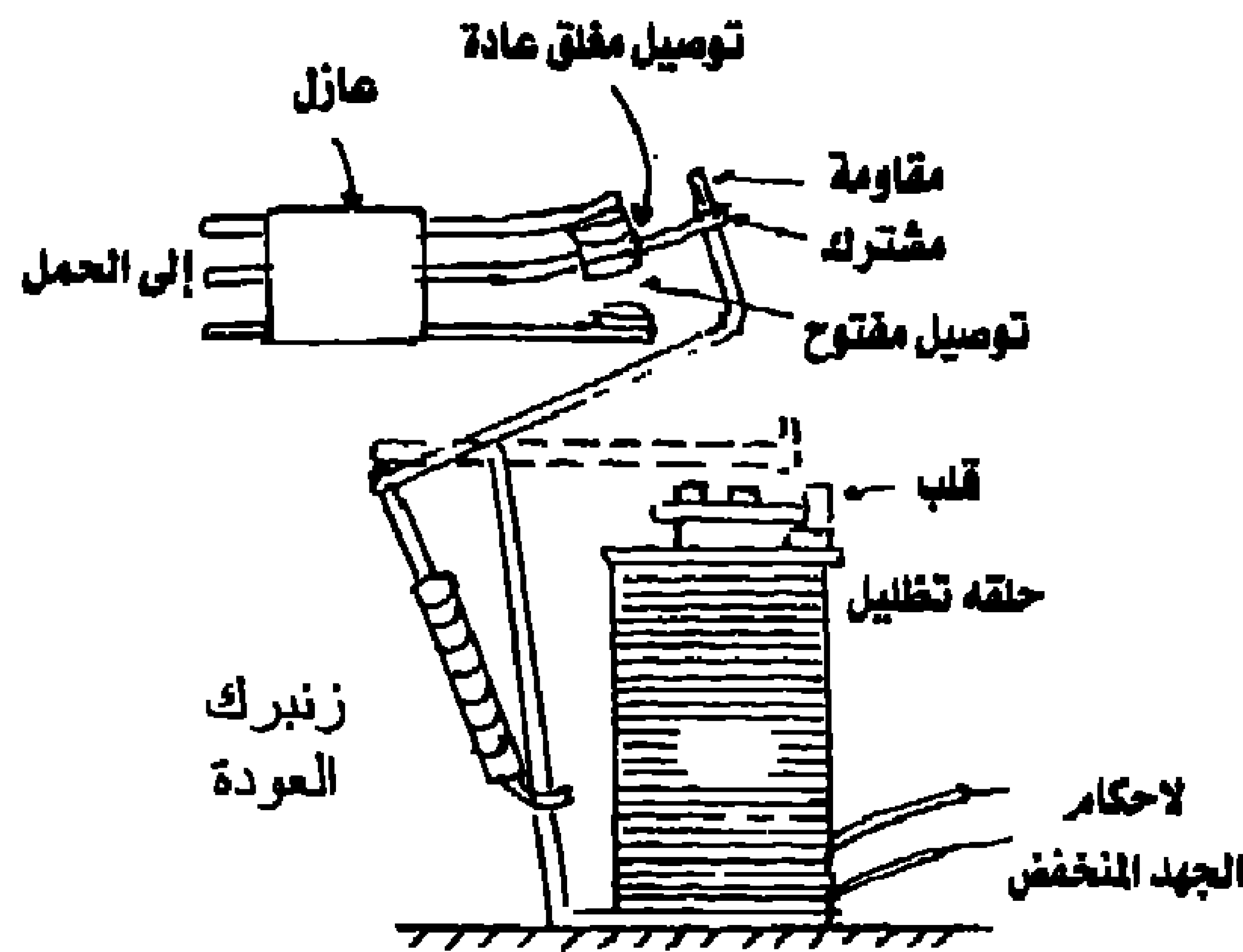
شكل (16/12)

المقاوم الحرارى (Thermister) هو نوع آخر، ويتكون من شبه موصل الذى لـه خصائص مقاومة كهربية ذات دلالة قوية لدرجة الحرارة. تدفق التيار خـلال المقـاوم الحرارى يتغير مع تغيرات درجة الحرارة، ويستخدم كوبرى كهربى لتنشيط المحول أو التابع القمرى (Selenoid or Relay). حيث أنه يمكن وضع المقاوم الحـرارى بعيـداً حتى 60 متر من وحدة التحكم، فإن هذا هو السبب فى استخدامه على نطاق واسع.

وحدة التحكم أو الحاسب الميكرونى يستقبل الإشارات من أجهزة الإحـساس ثـم يتحكم فى الطلمبات والمحابس بتشغيل المحولات (Relays) من النوع الموضـح فـى الشكل (17/12). المحول من هذا النوع يعمل بواسطة ثيرموستات ذو الجهد المنخفض (24 فولت)، والذى يسبب حمل فرق جهد عالى، مثل 120 إلـى 240 فولـت لعمـل الطلمبة أو المحابس. يتم تمرير تيار صغير بمقدار 24 فولت خلال لفافـة المواسـير

Coil)، الذى يولد قوة مجال مغناطيسى على دوار المحرك الكهربى (Armature) حيث يسبب ذلك توقف عضو دوار المحرك. عندئذ يقوم عضو دوار المحرك (المغناطيسى) بفتح الالتصاق المغلق طبيعياً. مثل هذا النحول يمكن استخدامه لتشغيل معدة كهربية وإيقافها، عند تنفيد فرق الجهد على المحول. فى الشكل الموضح، المحول يمكن أن يقوم بتشغيل محبس أو تجهيز آخر الذى تم إيقافه عند استخدام الطاقة نحو اللفة (Coil)، على الجانب الآخر إذا كان الاتصال المفتوح طبيعياً تم توصيله بسلك (Wired) نحو الحمل، فإن المعدة الكهربية يتم تشغيلها عند إمداد الطاقة إلى اللفة وبخلاف ذلك تتوقف.

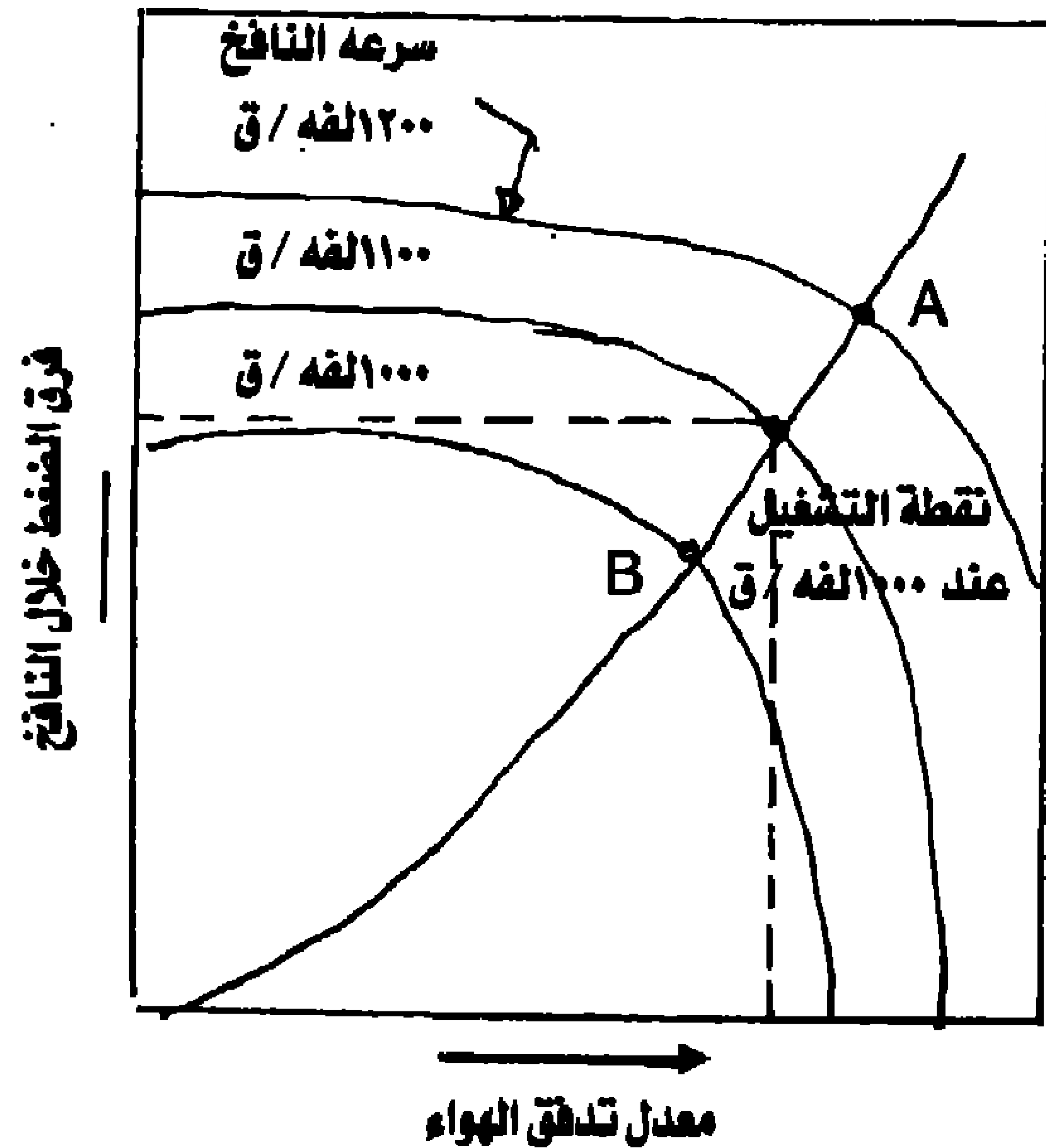
نظام التحكم يستخدم مصفوفة من محولات الطاقة (Power relays) لتشغيل المحابس الكهربية والطلمبات فى النظام ذو الأساس السائل، أو النافخات والمثبطات فى النظام ذو الأساس- الهواء، ولتنشيط وحدات التسخين الإضافية، طبقاً لدرجة الحرارة والضغط وفروق درجات الحرارة. المزدوجة الحرارية (Thermocouples)، العناصر ذات الازدواج المعدنى، وأجهزة إحساس تمدد السائل، البخار تستخدم كذلك بالإضافة إلى (Silicon transistors). المزدوجة الحرارية تستخدم لقياس درجات الحرارة ولكن نادراً ما تستخدم فى التحكم، نظراً لأن خرج فرق الجهد يكون منخفضاً ويلزم التكبير لتوفير الفولت الكافى لتجهيزات التحكم. طلاً من المقاوم الحرارى، الترانسستور السيليكونى يولدوا فرق جهد خرج بمقدار صفر - 10 فولت، والذى هو عالى بما يكفى لمهام التحكم نظراً لأن خرج فرق الجهد من المقاوم الحرارى ليس متناسبا مع درجة الحرارة، فإن الحاسب الميكرونى أو نظم التحكم الأخرى يجب أن تعلل عدم استقامة المقاومة مع درجة الحرارة. وكذلك فإن خرج فرق الجهد من الترانسستور السيليكونى يكون متناسباً مع درجة الحرارة خلال مجال عملهم الطبيعى، والذى يسمح ببساطة لدائرة التحكم.



شكل (17/12) نموذج لمؤجل

المراوح، الطلمبات والمبادلات الحرارية :

المراوح (النافخات) أو الطلمبات لنظم التسخين والتبريد الشمسى يتم اختيارها بمنظاهرة خصائص الضخ مع خصائص الهبوط فى الضغط للنظام. هندسة وسرعة العمل للمروحة أو الطلمبة له تأثير على خواص ضخها. خصائص الطلمبة أو المروحة بدلالة قوة الحصان للمحرك أو عدد اللفات فى الدقيقة يتم توفيرها بواسطة المنتج الشكل (18/12) يبين نموذج المنحنيات للمروحة. المصمم يجب أن يحسب الهبوط فى الضغط للنظام لاختبار المروحة وسرعة التشغيل بحيث أن يكون فرق الضغط خلال المروحة يساوى الهبوط فى ضغط النظام عند معدل التدفق للتشغيل. بالنسبة للحالة الموضحة فى الشكل (18/12) نقط العمل سوف تتطلب سرعة مروحة 1100 لفة فى الدقيقة. سرعة المروحة الكبيرة (النقطة A) سوف تنتج هبوط كبير فى الضغط ومعدل تدفق أعلا يصاحبه زيادة كبيرة فى متطلبات الطاقة للنافخ. إذا كانت المروحة صغيرة جداً أو أن سرعتها بطيئة جداً فإن النظام قد يعمل عند النقطة (B) والذى ينتج عنه انخفاض فى معدل التدفق، ويصاحبه تحلل فى أداء النظام.



شكل (18/12) خواص منحنيات النافخ النموذجية

نافخات الطرد المركزى (Centrifugal blowers) فى نظام تسخين الهواء يمكن أن تكون إما التى تعمل بالسير (Belt Driven) أو العمل المباشر (Direct Drive). تلك هى أنواع النافخات المستخدمة عادة. النافخ المعين سوف يكون له نقطة عمل

(Operating point) [معدل التدفق، فرق الضغط] الذى عنده تكون كفاءته عند أقصاها. المراوح والنافخات يتم اختيارها للعمل قريباً من أقصى كفاءة لنقطة التشغيل. الطلمبات تستخدم لتدوير السائل لموائع الانتقال الحرارى فى النظم الشمسية الفعالة النشطة. النوعين الرئيسيين للطلمبات التجارية المتاحة هما الطلمبة ذات الإزاحة الموجبة (والتى تتصف بمعدل التدفق المنخفض وفرق الضغط العالى أو الضغط الرأسى)، وطلمبات الطرد المركزى (التى تتصف بانخفاض الضغط الرأسى وزيادة معدل التدفق) للعديد من الطلمبات ذات سعات مختلفة ومتاحة. الطلمبات متاحة من معدن الحديد، البرونز أو الصلب المقاوم. الطلمبات من معدن الحديد يحدث لها صدأ سريعاً فى حالة استخدامها فى النظام المفتوح، ولكن تكون كافية إلى حد ما للنظم الحلقية المقفلة مع مثبط التآكل. صافى ضغط الامتصاص أو السحب عند مدخل الطلمبة يجب ألا يقل عن ضغط البخار للماء عند الطلمبة، وألا يحدث تآكل كهفى (Cavitation) بما يترتب عليه تلف للطلمبة.

المبادلات الحرارية :

تستخدم المبادلات الحرارية فى النظم السائلة لعزل المحلول المضاد للتجمد فى حلقة تدوير المجمع من خزان المياه ولعزل ماء التسرب من المحاليل التى لا يتم شربها. النوعين الأساسيين من المبادلات الحرارية هما ذو الحلقة المزدوجة والمنفردة. مثل الحلقة المنفردة هو المبادلات الحرارية ذات لفة المواسير فى الخزان (Coil In Tank) شكل (16/11c)، المبادل الحرارى الملفوف بـ (Wraparound) حيث تكون الماسورة ملفوفة حول الخزان وملحومة فيه. الماء من المجمع الشمسى يتم مروره خلال الأنبوب وتنقل الحرارة إلى الماء فى الخزان. الشكل (16/11) ب يوضح نظام الحلقة المزدوجة (Double loop) والذى يستلزم طلمبتين لاستمرار إحكام التدفق الموجب على كلا جانبى المبادل الحرارى. فى حالة التدفق العكسى بالحلقة المزدوجة للمبادل الحرارى، فإن معدل الإمكانيات (Capacity Rate) أى طاقة التسخين فى معدل تدفق الكتلة، للتدفقات على كلا جانبى المبادل الحرارى تصبح متساوية.

ميزة وجود المبادل الحرارى فى النظام الشمسى هو ضرورى زيادة درجة حرارة التشغيل للمجمعات الشمسية لإعطاء درجة حرارة معينة إلى سائل التخزين.

لزيادة فى درجة حرارة تشغيل المجمع الشمسى ينتج عنها انخفاض فى الكفاءة. هذا الفرق فى درجة الحرارة يكون ضرورياً بحيث أن الحرارة سوف تنقل من مائع المجمع إلى تخزين الماء الدوار خلال المبادل الحرارى.

الفصــل الثــالث عشر

التبريد الشمسى للمبانى

1- مقدمة :

استخدام الطاقة الشمسية للتبريد يمكن أن يكون إما لتوفير التبريد لحفظ المواد الغذائية أو لتوفير التبريد للراحة. توجد خبرة أقل فى مجال التبريد الشمسى مقارنة بالتسخين الشمسى. تم تصميم العديد من المبانى بالتدفئة الشمسية وبناءها وتشغيلها لفترات طويلة ولكن ما تم بالنسبة للتبريد الشمسى هو تجارب قليلة لمدد قصيرة. ولكن يتوقع أن تقوم النشاطات البحثية بسد الفجوة بين الاثنين خلال سنين قليلة.

التبريد الشمسى له بعض المميزات مقارنة بالتسخين الشمسى. الحاجة غلى التبريد تكون أكثر فى حالة سطوع الشمسى يومياً أو كل عام. نظراً لأن الإشعاع الشمسى هو العامل الهام فى تحديد درجة الحرارة خارج المنزل، فإن المواسم الحارة من العام تحدث عادة خلال فترات شدة سطوع الشمسى. بالمثل فإن ساعات أعلا درجة حرارة فى اليوم يقابلها أعلا معدل إشعاع شمسى. عوامل أخرى مثل الرياح والرطوبة. نظم التبريد الشمسى عادة يتم تصميمها مع فريضة أن ذروة أحمال التبريد ليس من الضرورى أن تتوافق مع ذروة شدة الإشعاع الشمسى.

الطريقتين لخفض درجة الحرارة لتبريد الفضاء هى التبريد (Refregiration) (عادة إزالة الطاقة من الهواء) والتبخير للتبريد (تبخير الرطوبة) كذلك تستخدم إزالة الرطوبة. يحدث التبريد بالتبخير عند حدوث تبخير للماء ، تبخير العرق من الجلد هو أحد الآليات التى يستخدمها جسم الإنسان ليظل بارداً. التبريد بالتبخير للمبانى يعمل جيداً فى المناخ الجاف. إزالة الرطوبة من الهواء، هى طريقة تبريد فى المناخ الرطب والذى يشار إليه بإزالة الرطوبة بالامتصاص (Absorbtion dehumidification).

فى هذا الفصل سوف تتم دراسة نظام تكييف الهواء بنفس المجمعات الشمسية المستخدمة فى التدفئة الشتوية.

2- تصميم نظام التبريد الشمسى :

عند تصميم نظام التبريد الشمسى فإنه يتم مراعاة العناصر الآتية:

أ- متطلبات التبريد :

حمل التبريد للمبنى هو المعدل الذى عنده يجب إزالة الحرارة لاستمرار الهواء فى المبنى عند درجة حرارة معينة. يتم حسابها عادة على أساس حمل الذروة المتوقع خلال فصل التبريد.

ب- تصميم المجمع الشمسى للتبريد الشمسى للمبنى:

يتم اختيار مساحة المجمع الشمسى، الميل وعدد الأغطية.

جـ- تخزين الطاقة:

تخزين الطاقة عند درجة حرارة عالية أو منخفضة كلاهما ممكن في التبريد الشمسى. تصميم خزان الحفظ يحكمه اعتبارات اقتصادية.

3- نوع نظام التبريد:

نظام ضغط البخار أو امتصاص البخار يمكن استخدامه. النظام يمكن أن يكون من نوع العمل المستمر أو المتقطع. يمكن استخدام نظم أخرى طبقاً للمكان.

4- التحليل الاقتصادى:

أ- متطلبات التبريد:

حمل التبريد للمنى يعتمد على:

- درجة الحرارة الداخلية والرطوبة النسبية.
- درجة حرارة الخارجية والرطوبة النسبية.
- حمل التسخين الشمسى خلال النوافذ والحوائط.
- التسرب والتهوية.
- أحمال إضافية.

طريقة حساب حمل التبريد طبقاً للخطوات الآتية:

1- يتم أولاً دراسة تفاصيل المبنى.

- مساحة الحائط، نوع الإنشاء وخواص السطح والسقف.
- مساحة النافذة، نوع توزيع النوافذ والستاير.
- مكان وتوجيه المبنى.

2- يتم توصيف الحالات الداخلية والخارجية.

3- حساب انتقال واكتساب الحرارة الشمسية خلال الحوائط والسقف.

4- حساب اكتساب الحرارة الشمسية خلال مساحات النوافذ.

5- حساب معدل التهوية و/أو التسرب والأحمال طبقاً لذلك.

6- حساب الحرارة المكتسبة بسبب الأدوات، الإضاءة ومصادر الحرارة الأخرى.

7- حساب الحرارة المكتسبة بواسطة الناس.

اكتساب الحرارة يتضمن كلاً من المحسوسة والحرارة الكامنة.

بمجرد تعيين اكتساب الحرارة لمبنى معين، فإن الخطوة الأخيرة هى لحساب أحمال التبريد للمبنى بسبب:

الانتقال الحرارى خلال النوافذ.

الانتقال الحرارى خلال الحوائط.

الانتقال الحرارى خلال السقف.

زيادة الحرارة المحسوسة بسبب التسرب.

زيادة الحرارة الكامنة (بخار الماء)

مصادر الحرارة الداخلية، مثل الإضاءة، الإنسان الخ.

تصميم المجمع الشمسى للتبريد:

النتيجة النهائية المتعلقة بتصميم المجمع المستخدم مع فصول الصيف الحارة هى:

1- أفضل ميل للمجمع (S) يساوى خط العرض (ϕ) (باستثناء فى الجنوب حيث $S = \phi - 10^{\circ}$).

2- أفضل مساحة للمجمع تكون دائماً أكبر من تلك المستخدمة للتدفئة فقط.

3- غطائين من الزجاج للمناخ دون المدارى، وإلا يكون المطلوب ثلاث أغطية بسبب درجة الحرارة العالية اللازمة لنظام التبريد.

نتيجة العمل والخبرة على تكييف الهواء الشمسى حتى الآن. لم تحقق نظام تكييف شمسى غير مكلف ويعتمد عليه ولا يوصى باستخدام نظام على نطاق واسع فى هذا الوقت.

تخزين الطاقة عند درجات الحرارة العالية والمنخفضة:

التخزين البارد يوفر مميزات معينة مقارنة بالتخزين الساخن. الفرق فى درجة الحرارة بين التخزين الباردة (ليكن 15° م إلى 10° م) ودرجة الحرارة المبنى (لتكن 21° م) يكون أقل عن فرق درجة الحرارة بين التخزين الساخن عند درجة حرارة الغرفة

(حوالى 50-75°م). نتيجة لذلك، يتم فقد تأثير أقل من التخزين البارد مقارنة بذلك من التخزين الساخن. هذا بالإضافة إلى أن التخزين البارد مفضل عن التخزين الساخن نظراً لأن الفقد من التخزين الساخن فى المبنى تضيف إلى حمل تكييف الهواء الصيفى.

القرار نحو استخدام التخزين البارد أو الساخن أو التخزين المشترك يتوقف على مكان المبنى. عندما تكون أحمال التسخين صغيرة فإنه يتم التصميم للتخزين البارد فقط، نظراً لأن الاستثمار فى التخزين الساخن يكون غير اقتصادى. يجب ملاحظة أن التخزين الساخن فى الشتاء يمكن استخدامه كتخزين بارد فى الصيف باستخدام المحابس بطريقة منظمة.

نظم التبريد الشمسى:

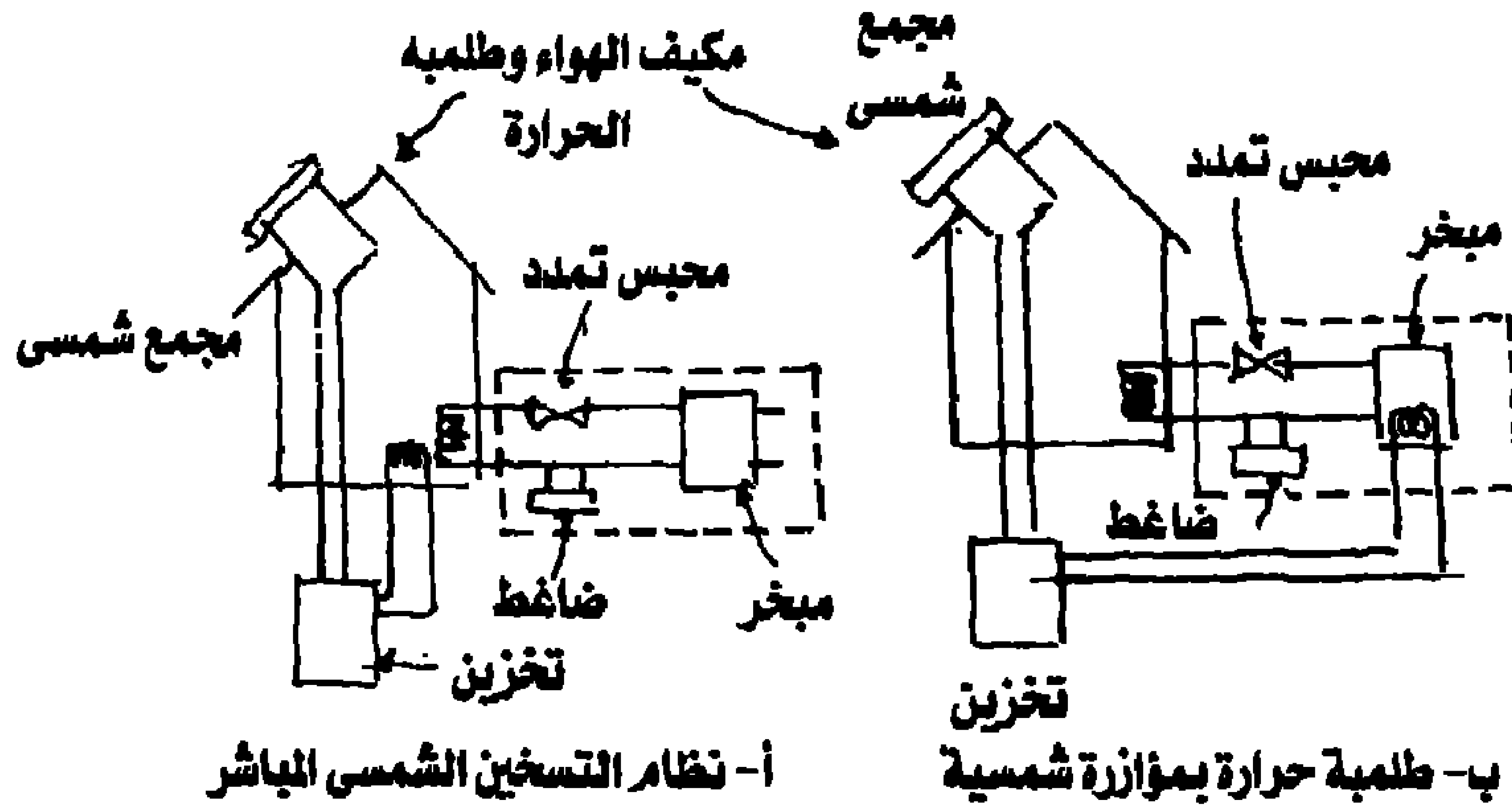
أ- نظام ضغط البخار والطلمبات الحرارية :

ضغط البخار بالطريقة الكهربية هو المستخدم عادة فى نظام التبريد. يمكن استخدامه لتكييف الهواء الذى يدخل تحت أى ظروف، كذلك يمكنه إمداد مستوى من الراحة أعلا عن ذلك للنظم الأخرى.

الطريقة الجذابة لتحقيق أقصى معامل استفادة هى باستخدام طلمبة مكيف الهواء بالمساعدة الحرارية الشمسية فى كل مناخ العام. إمكانيات التسخين لنظام طلمبة التسخين بضغط البخار ينخفض عند عمل الطلمبة الحرارية فى درجة فى مجال درجة الحرارة المنخفضة مثل المناخ البارد. يمكن استخدام الطاقة الشمسية وسوف تقلل أو تعمل بدون التسخين الإضافى بالمقاومة. الطلمبة الحرارية (Heat Pump) يمكن تعريفها بأنها النظام الذى يمتص الطاقة عند درجة حرارة منخفضة وينتج طاقة عند درجة حرارة أعلا خلال دورة ضغط البخار أو الامتصاص. ولكن، غير متاح حالياً طلمبة حرارية بدورة الامتصاص. الطلمبات الحرارية المتاحة تستخدم دورة التبريد القياسية بضغط البخار التى تعمل بالعكس، المبخر يوضع عادة خارج المنزل والمكثف داخل المنزل. مدخلات الطاقة الميكانيكية إلى الضاغط خلال ضغط البخار ترفع الطاقة الداخلية الممتصة على درجات الحرارة العادية إلى مستوى درجة حرارة مقيد فى تدفئة الفراغ. كمية الطاقة المستخلصة من هذا النظام يمكن أن تكون أكبر عدة مرات من الطاقة اللازمة بواسطة الضاغط. الميزة الأساسية لنظام طلمبة الحرارة (Heat pump) هى ذلك "مضاعفة التدفئة (Heating Multiplication).

فى نظام طلمبة الحرارة بالمساعدة الشمسية المصممة لكل من التدفئة والتبريد للمبنى يوجد نظامين. فى أحدهما الموضح فى الشكل (13/1-أ) نظام التسخين الشمسى ونظام طلمبة الحرارة يمكن أن ينفصلا. الشكل (ب) الدورتين كما هو موضح متصلين

والمجمع الشمسي يساعد في خفض كمية الحرارة التي يجب إمدادها بواسطة الضاغط عند تسخين المبنى. من الواضح أن التنظيم الثاني أكثر كفاءة. يظل المبخر عند درجة حرارة مرتفعة بمساعدة النظام الشمسي. الحرارة يمكن انتقالها من التخزين إلى لفات مواسير المبخر.



شكل (1/13)

طلمبة تسخين مكيف الهواء هي ذات تحكم مناخي أي أنها تستخدم دورة ضغط البخار لبناء كل من الحرارة والتبريد. النموذجي، هو الصرف الحراري ومصدر الحرارة لمثل هذا النظام هو الهواء العادي، رغم أن المياه الجوفية يمكن استخدامها. الطلمبة الحرارية هي ببساطة ناقل للحرارة والتي من خلال استخدام شغل ميكانيكي في الدورة، تزيد درجة حرارة إلى مستوى حيث يمكن استخدامه كمصدر لتدفئة المنزل.

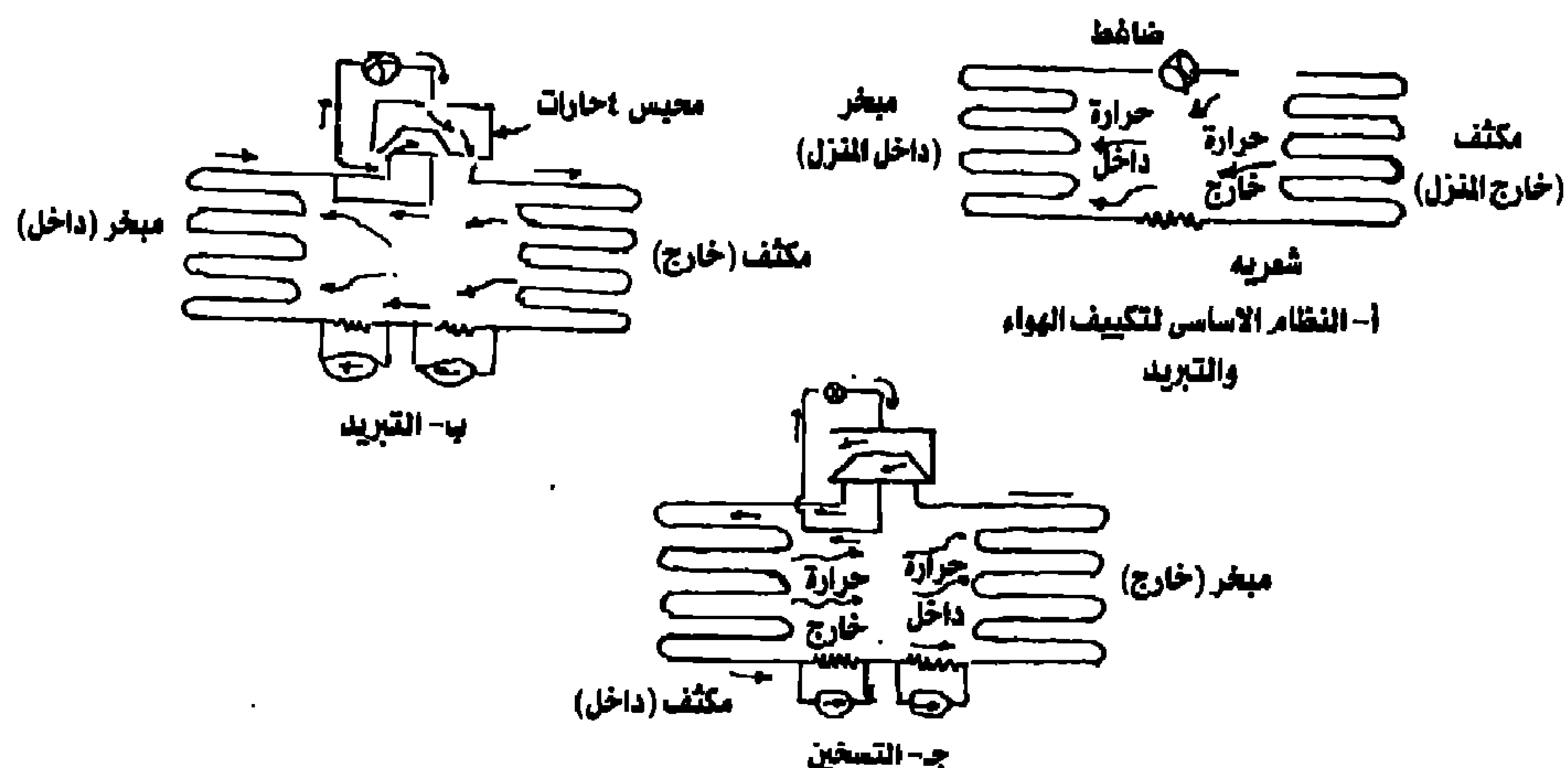
الدورة المستخدمة في النظام القياسي لتكييف الهواء بضغط البخار موضحة في الشكل (2/13). الإضافة الوحيدة في طلمبة التسخين هي المحبس ذو أربع حارات ليسمح بعكس الدورة عندما يكون نظام التسخين يتغير إلى نظام التبريد وتجهيزه تمدد مصممة خصيصاً للعمل المعين (التسخين أو التبريد). الدورة الأساسية يمكن تصميمها للعمل في كثير من الأشكال. أضخم مبنى بالتدفئة الشمسية في العالم عند إكماله، له مساحة أرض 27900 متر مربع دافئة و 2250 متر مربع مساحة تجميع يستخدم طلمبة تسخين معززة بالكهرباء للتسخين، وهذا يعتبر سلبية لطلمبة التسخين نظراً لاستهلاكها للطاقة الكهربية.

ب- تكييف الهواء بالامتصاص : (Absorbtion Air conditioning)

تكييف الهواء بالامتصاص هو نظام تكييف الهواء الوحيد المتوافق مع الحدود العليا لدرجة الحرارة المستغلة بواسطة مجمعات السطح المستوى المتاحة عادة. وحدات

مكيفات الهواء بالحجم المنزلى أكثر تكلفة مقارنة بوحدات مكيفات الهواء بضغط البخار، ولكن حاليا فقط تكييف الهواء بالامتصاص عمل بنجاح فى المنشآت.

تم تناول عاملين نحو مبردات الامتصاص بالعملية الشمسية. الأول هو (المبرد المستمر) والذى فى إنشائه وعمله يشبه نظام التبريد لامتصاص البخار التقليدى. خزان المجمع الشمسى يمد الطاقة إلى المولد، حيث تتوفر الطاقة الشمسية، بخلاف ذلك يتم الإمداد بمصدر الطاقة الإضافى. العامل الآخر هى باستخدام (المبردات المتقطعة) والتى تعمل بطريقة متقطعة وتعمل خلال الفترات عند توفر الطاقة الشمسية. المبردات المتقطعة لم يتم استخدامها لتكييف الهواء ولا دراستها جيداً لاستخدامها فى تكييف الهواء الشمسى.



شكل (2/13) دورة ضغط البخار أ- طريقة تكييف الهواء

ب- طريقة طلمبه الحرارة للتبريد جـ- طلمبة الحرارة للتسخين

النظام المستمر (تكييف الهواء بالامتصاص)

كلا نوعى مكيفات الهواء بالامتصاص متوفرين فى السوق، وهما نظام بروميد الليثيوم – الماء (Libr- H_2O) ونظام الامونيا الماء (NH_3 - H_2O). من بين نظامى تكييف الهواء بالامتصاص العاديين، فإن نظام (Libr - H_2O) هى الأكثر بساطة ذلك لعدم الحاجة إلى برج التقطير. فى نظام (NH_3 - H_2O) برج التقطير يؤكد عدم وجود بخار ماء مخلوط مع الـ (NH_3) يدخل المبخر حيث يمكن أن يتجمد. فى نظام (Libr H_2O) بخار الماء يكون مبرداً. بالإضافة فإن نظام الماء الأمونيا يتطلب درجة حرارة مولد من 120 إلى 150^o م، درجة الحرارة هذه أعلا من الذى يمكن توفيره بواسطة مجمع اللوح المستوى، بدون تقنيات خاصة. نظام (LiBr- H_2O) يتطلب درجة

حرارة مولد أقل من 85 ° - 95 ° م والتى يمكن الحصول عليها بواسطة مجمع اللــوح المستوى. عيوب نظام ($LiBr-H_2O$) هو أن الماء لا يمكنه الاستمرار فى الشكل السائل عند درجة حرارة صفر درجة مئوية، هذا النظام لا يمكنه عملياً العمــل عنــد درجــة حرارة دون 4°م، نظراً لأن المبرد هو بخار الماء. وهذا ليس عيب رئيسى فى تطبيقات تكييف الهواء.

الأداء المؤثر لدورة الامتصاص تعتمد على مادتين وهمــا زوج المبــرد المــاص (Refregirant - Absorber pair) كلا هذين السائلين يجب أن يكون لهمــا الخــواص التالية:

1- عدم وجود ماص ذو مجال صلب.
2- المبرد أكثر تطايراً عن الماص، لتمكين فصله من الماص بسهولة فى المولد.
3- الماص ذو القابلية الصغيرة للمبرد.
4- درجة عالية من الثبات للعمل لمدة طويلة.
5- إذا كان المبرد له حرارة كامنة كبيرة بحيث أنه المحافظة على معدل التــدوير عند أدناه.
6- معدل تأكل بطئ وعدم السمية لأسباب أمنية.

العيب الوحيد لزوج ($LiBr - H_2O$) هو المشكلة المحتملة للتبلر فى المولد.

1- نظام : ($LiBr-H_2O$)

نظام تكييف الهواء بالامتصاص مبين فى المخطط شكل (3/13).

مياه تبريد خارج
C محبس تمدد
إلى الفراغ البارد
مجمع
خزان حفظ
طلمبه
دخول مياه التبريد
طلمبة
تجميع شمسى والتخزين
متصاص - مكيف الهواء

Ax= اضافى
C= مكثف
A= ماص
G= مولد
E= مبخر
HE= مبادل حرارى

شكل (3/13) مخطط لمكيف الهواء الشمسى بالامتصاص

النظام يتكون من جزئين وهما:

1- المجمع الشمسى والتخزين .

2- مكيف الهواء بالامتصاص والتسخين الإضافى.

المكونات الأساسية للمبرد هى:

(1) المولد (G)، (2) المكثف (C)، (3) المبخر (E)، (4) الماص (A)، (5) المبادل الحرارى (HE).

عمل مكيفات الهواء بالامتصاص بالطاقة من أنظمة مجمع اللوح لمستوى والتخزين هو الأسلوب العادى فى التبريد الشمسى الآن. فى الأساس التبريد يتم تنفيذه كمولد لمبرد الامتصاص يتم إمداده بالحرارة بواسطة المائع الذى يتم ضخة من نظام تخزين المجمع أو من مصدر ثانوى.

يتم إمداد الحرارة إلى محلول المبرد فى الماص فى المولد، حيث يتم تقطير المبرد من السائل الماص. المبرد (الآن سائل) يتم تكثيفه وذهابه خلال محبس خفض الضغط إلى المبخر حيث يتبخر ويبرد الهواء أو الماء لتبريد الفضاء. بخار المبرد يذهب إلى الماص حيث يلتصق مع المحلول الضعيف في المبرد والذى يتدفق من المولد. البخار يتم امتصاصه فى المحلول، والذى يعود عندئذ إلى المولد. يستخدم مبادل حرارى لاستعادة الحرارة الملموسة ويحسن أداء المبرد إلى حد كبير.

من وجهة نظر استخدام مصدر الطاقة التقليدى، فإنه يوجد مؤشر واحد للأداء لعمليات التبريد والذى هو معامل الأداء (Coefficient of performance) نسبة كمية التبريد إلى الطاقة المطلوبة. فى حالة الأداء الشمسى يوجد عاملين آخرين، مستوى درجة الحرارة اللازم فى المجمع الشمسى لتشغيل العملية ونسبة التبريد المنتجة إلى الطاقة الشمسية الساقطة على المجمع (نظام معامل الأداء). نظراً لأن الطاقة الشمسية ذات طبيعة متغيرة فى عملها، فإن نسب الطاقة ودرجات الحرارة سوف تتغير مع الوقت ومعامل الأداء المبنى على أداء لمدة طويلة متكاملة يوفر مؤشر مناسب للأداء. الضخ لزيادة محلول الامتصاص يمكن أن يكون بواسطة وسائل ميكانيكية أو بواسطة مضخات الرفع بالبخار فى المولد للنظم ذات الضغط المنخفض مثل نظام ($LiBr-H_2O$) يتطلب ماء تبريد للماص وللمكثف. النظم من هذا النوع المبينة فى الشكل (3/13) كانت أساس معظم الخبرة اليوم بالتكييف الشمسى للهواء.

المبردات المستخدمة فى معظم التجارب الآن هى ماكينات ($LiBr-H_2O$) حيث الماص والمبرد بتبريد المياه. الضغط فى المكثف والمولد يتم تثبيته إلى حد كبير بواسطة درجة حرارة مبرد المائع المكثف وكذلك بالهبوط فى درجة الحرارة خلال أسطح الانتقال الحرارى فى المولد والمكثف. الضغط فى المبخر والمكثف يتم تثبيته بدرجة حرارة مائع بالتبريد للماص وبهبوط درجة حرارة عبر أسطح الانتقال الحرارى فى المبخر والماص. لذلك، للمحافظة على درجة حرارة المولد خلال الحدود المحددة بواسطة خواص مجمع اللوح المستوى، معاملات التصميم الحرجة ومعايير الأداء تشمل تأثير المبادلات الحرارية ودرجة حرارة المبرد. فى الأداء العادى من التجارب الشمسية تم استخدام ماصات تبريد الماء ومكثفات، والتى بالتالى تتطلب برج تبريد.

معظم الماكينات المستخدمة حالياً لها تقريباً معامل أداء ثابت (نسبة التبريد المنتج إلى الإمداد بالطاقة إلى المولد) مع تغير درجة حرارة المولد خلال مجال العمل طالما أنه فوق أدنى قيمة.

معامل الأداء لمبردات ($LiBr-H_2O$) يكون عادة فى المجال من 0.6 إلى 0.8. تأثير التغير فى إمداد درجة الحرارة بالطاقة الشمسية إلى المولد هو لتغير إمكانية المبرد. الماء يستخدم كمبرد، ودرجات حرارة المولد يمكن أن تكون فى المجال من 75 - 95^{o} م.

معظم مساحات مشاكل نظام استخدام الشمس لمبردات ($LiBr-H_2O$) تشمل الآتى: إمداد درجات حرارة للمائع إلى المولد يجب أن تكون أعلا من درجات حرارة المولد. يوجد انضغاط بين الإمداد بدرجات الحرارة المطلوبة والحدود العليا لدرجة الحرارة عند 100^{o}م لخزانات حفظ الماء الغير مضغوط. العمل عند 100^{o}م يكون صعباً مع كثير من أنواع المجمع، خاصة مجمعات اللوح المستوى. يلزم أبراج تبريد فى تلك النظم.

التجارب السابقة على العمل الشمسى لمبردات ($LiBr-H_2O$) استخدمت ماكينات تجارية 3 إلى 5 طن بدون تطوير كبير للتجارب الشمسية. قريبا، تم تطوير المبردات المصممة لإمداد الطاقة الشمسية إلى المولدات. تم تطوير المبادلات الحرارية لخفض الهبوط فىدرجة الحرارة، تم خفض الغمر فى المولدات إلى أدنى ارتفاع فى درجة حرارة غليان المحلول بسبب الضغط الرأسية للمحلول والطلمبات الميكانيكية تم استخدامها بخلاف طلمبات الدفع بالبخار. تلك التطويرات قد كان لها تأثير على تحسين معامل الأداء مع خفض متطلبات درجة حرارة المولد.

مبردات الامتصاص فى مشروعات الطاقة الشمسية الحالية يتم تصميمها لاستخدام درجات حرارة منخفضة حتى 80^oم. بهدف المحافظة على التـأثيرات المناسـبة عنـد درجة الحرارة العالية، فإن المجمعات يجب :

1- يتم بناءها لتتحمل الضغوط العالية خلال النظام.

2- لها ألواح تغطية خاصة شفافة التى تسمح بأعلا كمية من الإشـعاع السـاقط، لذلك تتم التغطية الخاصة لخفض إشعاع الطاقة فى شكل حرارة.

لها ألواح امتصاص من معدن عالى النوعية مثل النحاس، مع الطـلاء الانتقـائى الخاص لزيادة الامتصاص وخفض الانبعاث (إشعاع الحرارة) فى كثير من الحـالات، كذلك، يجب أن يكون الجامع ضخم لنظام التبريد الصيفى مقارنة بنظام التدفئة الشتوية.

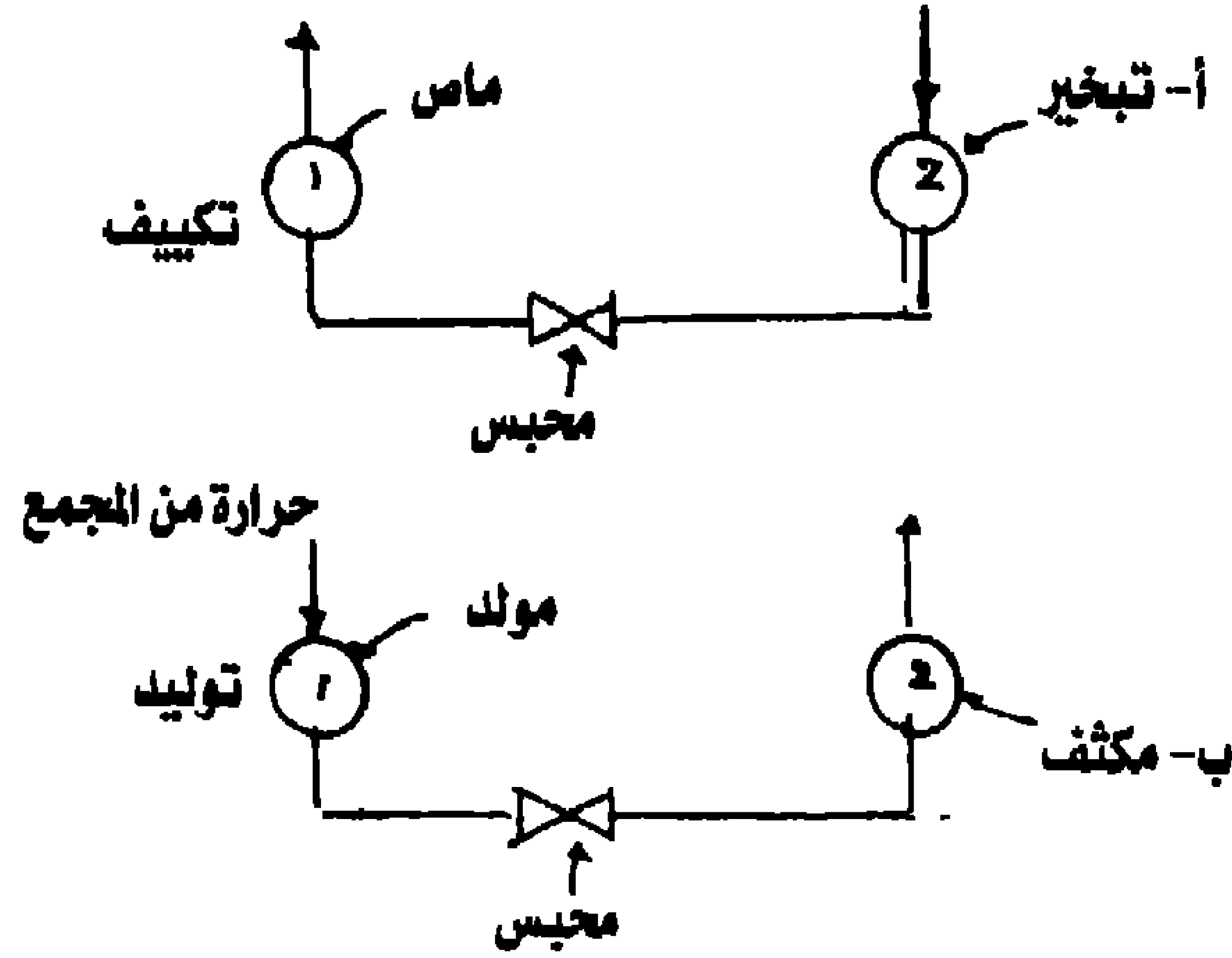
2- مبردات (NH_3- H_2O)

المخطط لمبرد الأمونيا – الماء يشبه لذلك فى الـشكل (13/3) علـى أن قطـاع التقطير يجب أن يضاف إلى قمة المولد لخفض المحتوى من بخار الماء لتدفقات البخار نحو المكثف. عمليات الحل الأساسى تشبه لتلك لنظام LiBr-H_2O عـدا أن الـضغوط وفروق الضغط أعلا كثيراً. يلزم طلمبات ميكانيكية لعودة المحاليل من المـاص إلـى المولد. فى كثير من التطبيقات يتم التبريد الهوائى لكل من المكثـف والمـاص، مـع درجات حرارة المولد فى المجال من 125- 175^oم. فى التطبيقات حيث يـستخدم ميـاه التبريد، فإن درجة حرارة المولد يمكن أن تكون فى المجال من 95 - 125^oم.

يوجد عمل قليل تم نحو الأداء التجريبى لنظم (NH_3- H_2O) بالطاقـة الشمـسية. درجات حرارة المولد المطلوبة فى المبردات التجارية المتاحة حالياً باستخدام المكثفات والماصات بتبريد الهواء عالية الارتفاع بالنسبة لمجمعات اللوح المستوى الحالية. يمكن تناول طريقتين فى هذه المشكلة. زيادة مجال درجة الحرارة لعمل المجمعات أو خفض درجة حرارة مولد المبرد. تم توجيه العمل نحو نظـام (NH_3- H_2O) نحـو تطـوير الدورات باستخدام تركيزات أعلا من NH_3 ومكونات عالية التأثير لخفـض متطلبـات درجة حرارة المولد. تطوير المجمعات مثل المجمعات الأنبوبية المفرغـة، مركـزات القطع المكافئ المركب أو أى مجمعات تركيزات بؤرية أخـرى أو مجمعـات اللـوح المستوى ذات التصميم الجيد بالماص الانتقائى والأغطية ذات الانعكاس المنخفض- فى هذه الحالة، يمكن توفير وسائل جديدة لتخزين الطاقة فى المجال من 100 -^{o} 175 م.

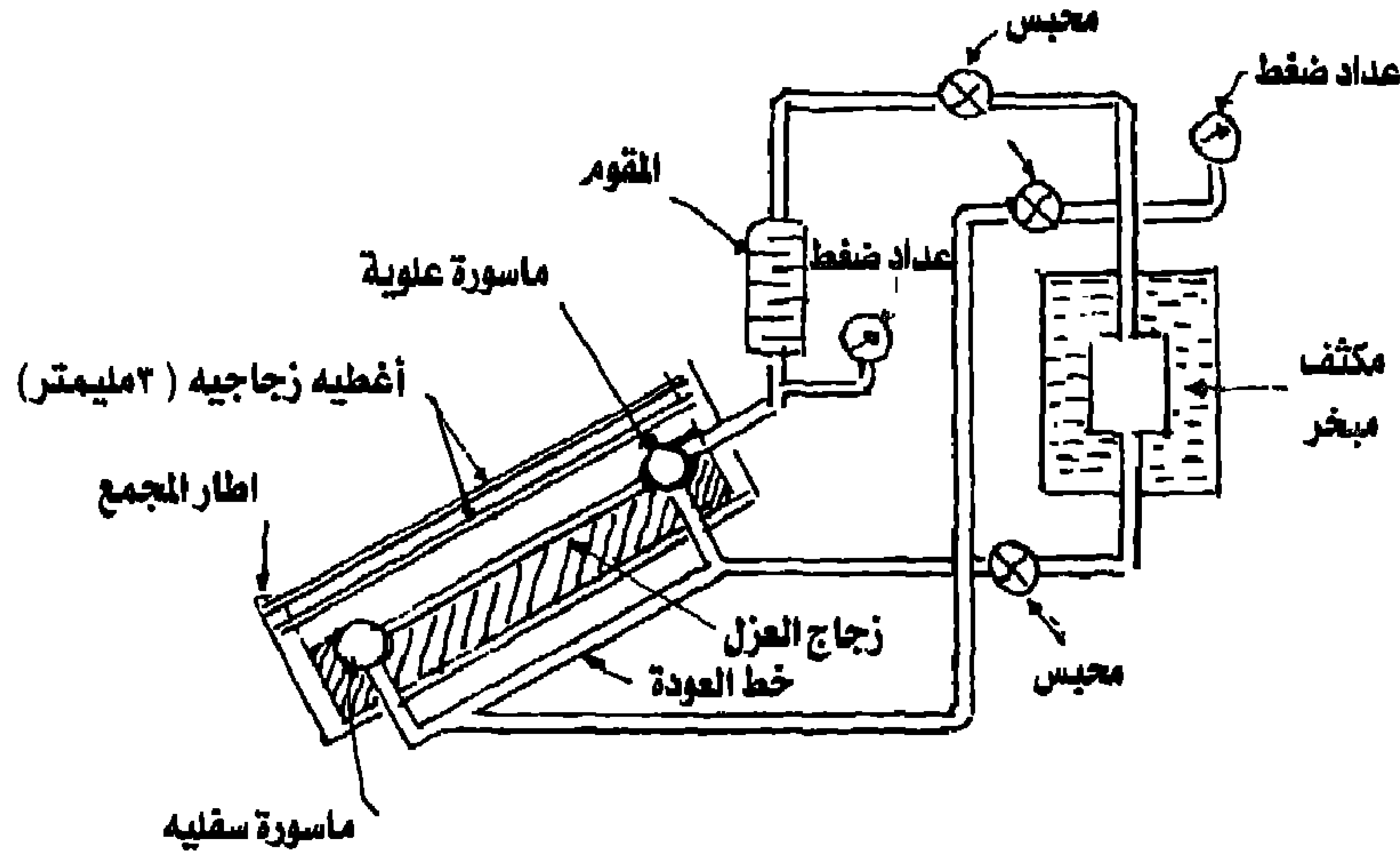
3- التبريد المتقطع بالامتصاص: Intermittent absorbtion cooling

يمكن أن يكون البديل للنظام المستمر. الأداء المحدود على هذه النظم تم توجيهه نحو حفظ الطعام وصناعة الثلج. الماص البسيط والمبردات بالمص تعمل عملها بطريقة متقطعة وليست فى دورة. فى دورة التقطير للمبرد من الامتصاص تحدث خلال مرحلة إعادة التوليد للعملية والمبرد يتم تكثيفه وتخزينه. خلال جزء التبريد من الدورة، فإن المبرد يتم تبخيره وإعادة امتصاصه. توجد وعائيين متصلين فى الشكل (13/4) يعملا بالتبادل كمجموعة من الماص المبخر. يتم أولاً التسخين للوعاء (1) بواسطة الطاقة الشمسية، حيث يرتفع ضغط البخار للمبرد الذى يمر عند ضغط ثابت إلى الوعاء (2) حيث يتكثف. يستمر هذا حتى وصول تركيز المبرد فى (1) وهبوطه إلى القيمة التى عندها ضغط البخار يساوى قيمة التشبع المقابلة لدرجة حرارة المكثف. عندئذ عندما يكون المحبس مغلقاً فإن النظام يمكن أن يستمر حتى المطلوب فى حالة الشحن ويمكن أن يتحرك إلى لوح آخر. عند إعادة فتح المحبس فإنه تحدث عودة للمبرد إلى (1) بواسطة محلوله فى الماص ويحدث التبخير فى (2) عند درجة حرارة منخفضة، محددة بواسطة الضغط المنخفض.



شكل (4/13) مخطط لمبرد امتصاص متقطع

مجموعة المبرد الماص المستخدمة فى هذا النظام هى الأمونيا – الماء (NH_3- H_2O) وكذلك أمونيا صوديوم ثيوسيانيت (NH_3 - Na SCN - Amonia sodium thiocyanate). فى النظام الأخير يستخدم محلول الصوديوم ثيوسيانيت كماص، والأمونيا كمبرد. نموذج لنظام التبريد المتقطع بواسطة الأمونيا – الماء موضح فى الشكل (5/13) .



شكل (5/13) مخطط لمبرد النشادر – الماء المتقطع

تم دراسة نظام الأمونيا – الماء والأمونيا –صوديوم ثيوسيانيت بواسطة العالم (Swart man). نظام الأمونيا–الماء ثبت أنه له معامل أداء من 0.5 إلى 0.14 طبقاً للأداء اليومى. نظام الأمونيا ثيوسيانيت بالإضافة إلى ميزة عدم الحاجة إلى تقطير ثبت أنه ذو معامل أداء أعلا من 0.11 إلى 0.27 ولكن مشاكل التآكل مع الأخير كثيرة وأكثر حدة. النظم ذات مواد الامتصاص الصلبة مثل الماء– الزيوليت تم دراستها حيث استحق درجات حرارة تشغيل أدنى فى المجال من 60 إلى80^o م ومعامل أداء عالى فى المجال من 0.3 إلى 0.4. الانتقال الحرارى والمادى المؤثر من وإلى الزيوليت هو مشكلة عملية والتى تباع لمجمعات خاصة ومبخرات التكثيف.

رغم حقيقة أنه ليست هناك حاجة لطاقة أخرى (كهربية أو ميكانيكية) فإن النظم المتقطعة ليس لها قبول عموماً بسبب الآتى:

1- التبريد متاح فقط خلال الليل حيث لا تكون له حاجة عموما (لتبريد الهواء).

2- معامل الأداء منخفض جداً بما يتطلب مساحات كبيرة للمجمعات حتى للحصول على طاقة تبريد معقولة.

أ– كفاءة التجميع للطاقة المنخفضة بسبب تسخين المحلول بواسطة السيفون الحرارى (Thermosyphon) ومعاملات الانتقال الحرارى بالحمل الحرارى تكون صغيرة.

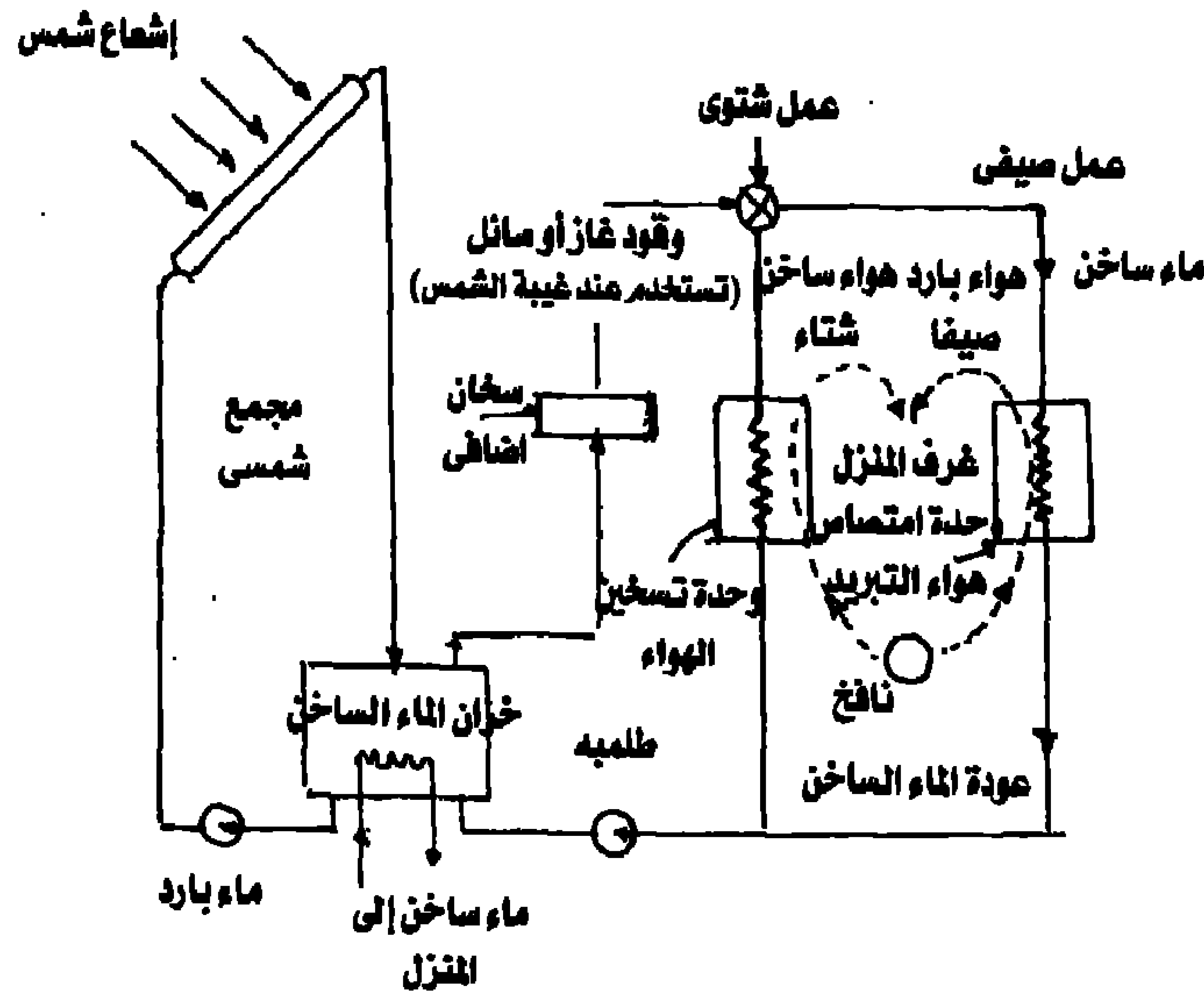
ب– لا يوجد تحكم فى معدلات التسخين العالى ودرجات الحرارة.

جـ- مجمع كمية كبيرة من الحرارة خلال اليوم يتم فقدها حيث أن كل النظام والمحلول يتم تبريده خلال الليل (ليس مثل النظام المستمر الذى فيه يتم استخدام المبادل الحرارى لاستعادة الحرارة من المحلول الضعيف ونقلها إلى المحلول القوى.

النظم المشتركة لنظم التدفئة والتبريد الشمسية :

Combined solar Heating and cooling systems:

الشكل (6/13) يوضح النظام المشترك الذى هو أرخص من كل من التدفئة والتبريد فقط مع إمكانية الاستخدام فى كل من الصيف والشتاء.



الشكل (6/13) نظام مشترك للتدفئة والتبريد الشمسى

الاعتبارات الاقتصادية لتصميم المنشأ وعمل نظم التدفئة الشمسية والتبريد الشمسى يجب أن تبنى على عدة عوامل هامة. المقادير النسبية لأحمال البرودة فى الصيف والتدفئة فى الشتاء لهما أهمية. يجب ملاحظة أن مكيفات الهواء من نوع الامتصاص أكثر تكلفة مقارنة بمكيف الهواء الميكانيكى. لذلك، فإنه فى المناخ البارد عندما تكون أحمال التبريد الصيفى صغيرة، فإن معامل استخدام مكيفات امتصاص الهواء ستكون منخفضة. هذا سوف يؤدى إلى ارتفاع التكلفة التبريد الشمسى.

العوامل الهامة الأخرى تشمل ظواهر تصميم المبنى، خواص الأداء لنظم التسخين والتبريد مثل معامل الأداء لمبرد الامتصاص، قد يؤثر الأهمية النسبية لكلا المتطلبين.

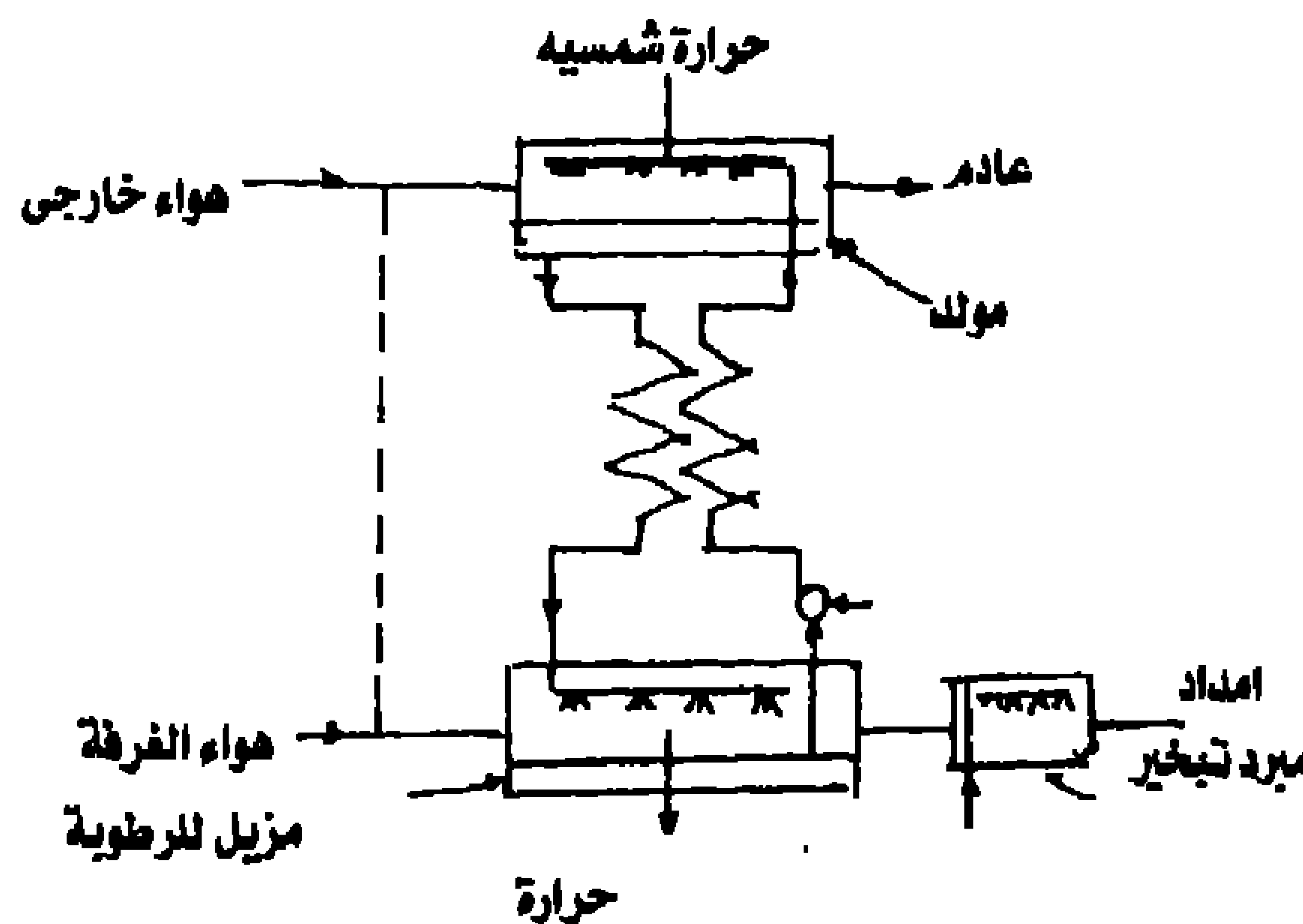
كذلك فإن مكان تخزين الطاقة له أهمية. يجب ملاحظة أنه فى حالة المكان داخل المبنى فإن الفقد الحرارى من التخزين سوف يسبب حمل خفيف خلال الصيف ويكون مكسب فى التدفئة الشتوية. المثل إذا كان الجامع مكونا جزء من غلاف المبنى فإن الفقد الخلفى من المجمع سوف تنتج حمل إضافى خلال الصيف وتكتسب فى الشتاء حاليـا، لنظام التصميم، أفضل طريقة هى للنمزجة (Model) فى الجو الواقعى وتحميل أفضل تصميم للنظام من ناحية الأداء الحرارى والتكلفة المقررة.

نظم التبريد بالدورة المفتوحة : (Open cycle cooling systems)

أ- إزالة الرطوبة : (Dehumidification)

لعمل نظام تكييف الهواء، فإن الهواء الرطب نفسه يمكن أن يساهم فى الدورة، كما هو موضح فى الشكل (7/13). تزال الرطوبة من الهواء بواسطة ماص صلب مثل السيليكا – جيل أو ماص سائل مثل محلول كلوريد الليثيوم، إيثيلين جليكول، أو بروميد الليثيوم. يتم التخلص من حرارة الامتصاص أو المحلول ثم تبريد الهواء بواسطة مبرد التبخير. عندئذ يتم استخدام الحرارة لإعادة تكوين الماص بطرد الرطوبة إلى تدفق الهواء الخارجى. نظم إزالة الرطوبة مع إعادة التوليد بالطاقة الشمسية قد استخدمت كلاً من مزيل الرطوبة الصلب والسائل.

من المناسب استخدام الماصات لإزالة الرطوبة من الهواء، ولكن يكون من الصعب التبريد بسبب ضعف توصيلهم الحرارى. ارتفاع درجة حرارة الامتصاص تؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة إعادة التوليد وانخفاض كفاءة المجمع الشمسى. كذلك بسبب ضعف التوصيل الحرارى للماصات يكون من الصعب استعادة الطاقة المستخدمة لرفع درجة الحرارة للماصات من درجة حرارة الامتصاص حتى درجة حرارة إعادة التوليد. محاليل الامتصاص على الجانب الآخر، يمكن تبريدها فى المبادلات الحرارية.



شكل (7/13) محلول المبرد بإزالة الرطوبة

ب- نظم التبريد ببخار الماء: Water vapour cooling systems

هذا النظام يستخدم غرفة الوميض (Flash) لبخار الماء لتبريد الماء. البخار المتكون فى غرفة الوميض يتم إزالته كماص حيث السائل المجفف يمتص بخار الماء. يتم ضخ السائل المجفف إلى المجمع الشمسى خلال المبادل الحرارى. يتم تبريد الماص بواسطة لفة مواسير التبريد. الماء البارد فى غرفة الوميض يتم تدويره خلال مبادل حرارى من الهواء إلى الماء، حيث يتم إمداد الهواء للمبنى يتم تبريده. نظراً لأن بعض الماء يتبخر فى غرفة الوميض فإن الوصلات للتعويض تكون مطلوبة للماء.

الطرق الطبيعية لتكييف الهواء:

التكييف الطبيعى للهواء يعتمد على نظم التبريد أو التجفيف لا يتم استخدامها لتكييف الهواء. التبريد بالإشعاع الليلى و/أو تبخير الماء بواسطة التخزين المناسب للماء يمكن أن يوفر حالات الراحة فى الصيف طالما أن الرطوبة فى الهواء الجوى لا تزيد عن تلك اللازمة داخل الغرفة. العديد من الطرق الطبيعية لتدفئة وتبريد الفراغ تم تطويرها فى أماكن مختلفة من العالم. تلك تشمل مبردات إعادة توليد التبخير (Regenerative Evaporative coolers).

أ- نظم التبريد بإعادة توليد التبخير:

أجهزة التبريد فى الصحراء المستخدمة التبريد بالبخار بدون التبادل الحرارى للهواء تستخدم كثيراً فى المناخ الجاف الساخن. ولكن، عندما يكون الهواء الجوى له تقريباً نفس المحتوى من الرطوبة لتلك المطلوبة فى الهواء المكيف، فإن مبرد التبخير البسيط لن يكون مؤثراً. يجب تبريد الهواء بدون زيادة رطوبته. تبريد تدفق هواء بإزالة الرطوبة وتدفق الهواء الثانى باستبدال الحرارة المحسوسة حيث يستعمل مع تيار الهواء الأول مبادل حرارى دوار لإعادة التوليد.

ب- The sky thermsystem

لقد أقر كلا من (H. R. Hay and Yellot) النظام الفعال للتدفئة لتنظيم التدفئة والتبريد الشمسى. وهو يتضمن التدفئة الفراغية بالطاقة الشمسية فى الشتاء والتبريد بالإشعاع للمناخ الليلى وتبخير الماء فى الصيف مصاحب لامتداد الماء بين السقف والعزل المتحرك. النظام قادر على مقابلة أنواع مختلفة من الجو مع الوسائل المختلفة لنمزجة الحالات الطبيعية، التدفئة الشمسية، طاقة الحرارة، الإشعاع الليلى، تبخير المياه ..الخ. مثل النظام الذى كان تحت الاختبار فى أريزونا.

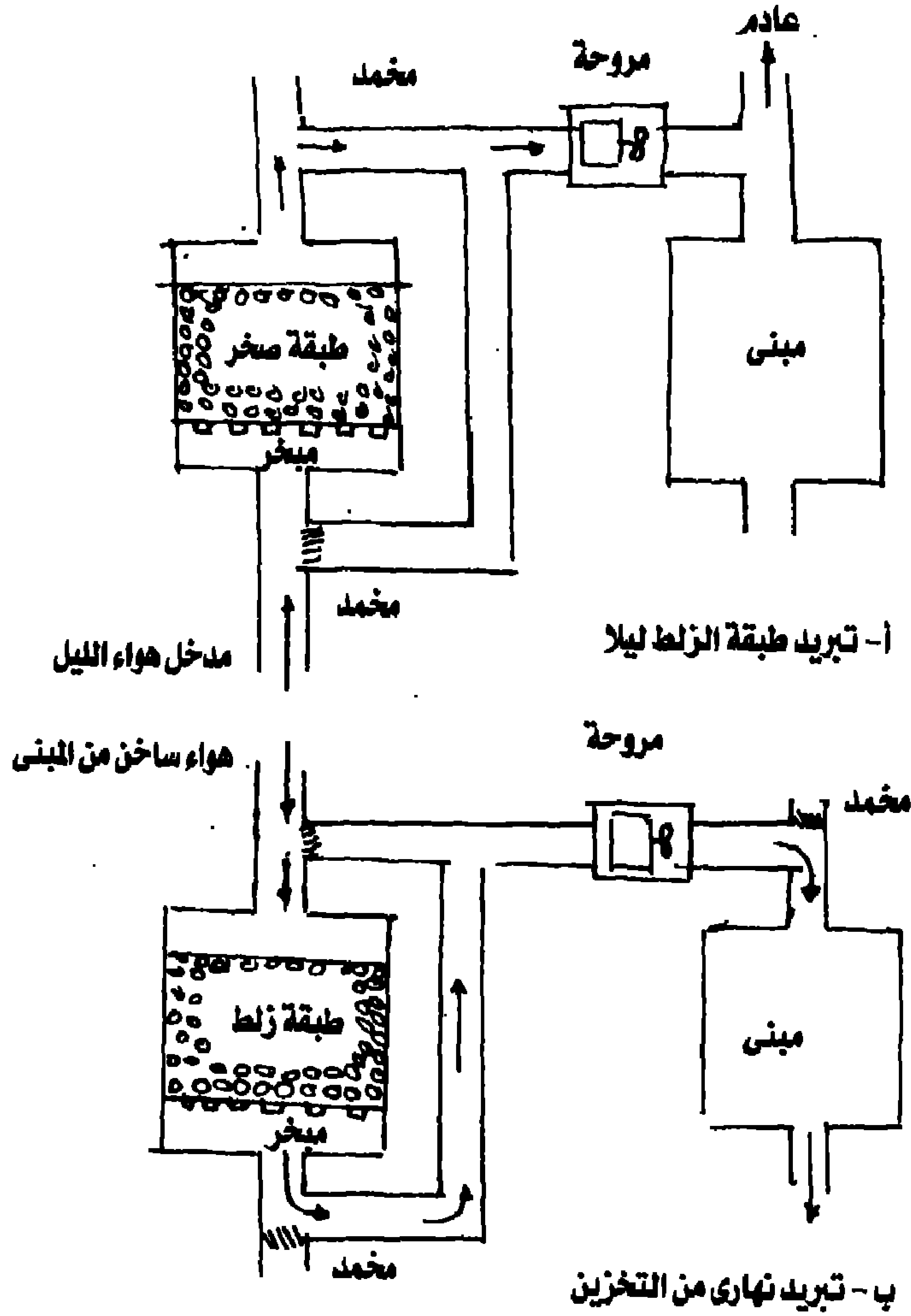
خلال فصل الصيف الماء المحتوى فى أوعية بلاستك فى برك السقف (Ceiling ponds) يتم تبريده بواسطة الإشعاع الليلى (Noctoricl radiation). إذا كان التبريد بالإشعاع ليس كافياً، فإن الأوعية البلاستك يتم فتحها، بسبب تبخر المياه فى هواء الليل، يوجد هناك تبريد إضافى. خلال وقت النهار، ويتم تحريك العزل فوق بركة الماء فى السقف ومنع التسخين لتلك الوصلات من أعلا. لذلك فإنه يوجد انتقال حرارى من الغرفة إلى البركة (Pond). البركة تظل عند درجات حرارة دون درجة حرارة الجو خلال اليوم. عند درجات حرارة الجو عند 37^{o}م ونقطة الندى 15 -20^{o} م (درجة حرارة البصيلة الرطبة ما بين 22 و 25.5^{o}م)، فإن التبخر عنوة للماء من البرك باستخدام نافخ يصبح ضرورياً لاستمرار درجة حرارة 27^{o}م فى الغرفة. خلال فصل الشتاء، تكون البرك مغطاة بالبلاستك الشفاف لمنع التبخر وبذا يتم التسخين بالتعرض لضوء الشمس فى وقت النهار. يتم تغطية البرك بواسطة العزل المتحرك ليلاً. درجة حرارة الغرفة أعلا من 22^{o}م يتم المحافظة على استمرارها مع درجة الحرارة خارج المنزل عند 5^{o}م.

جـ- نظام الصخر الأسترالى : (Australian Rock system)

يتكون النظام من طبقة ضخمة من الصخر. يتم تبريد طبقة الصخر بسحب الهواء البارد خلال الليل خلالها. أثناء النهار، يتم تبريد الهواء الساخن الدوار بسحبه خلال تلك الطبقات. تعزيز التبريد يمكن الحصول عليه بسحب الهواء الليلى خلال سطح مسامى له قدرة انبعاث عالية بحيث أن الإشعاعات خلال الليل يزيد من برودتها. مثل هذا النظام مناسب للأجواء حيث التغير اليومى فى درجة الحرارة يكون كبيراً، كما فى حالة مناخ الصحراء حيث الفرق بين درجة حرارة النهار والليل قد يصل إلى 25^{o}م. استخدام طبقة الحبيبات الزلطية لتوفير التخزين للطاقة لكل من التدفئة والتبريد تم وصفة بواسطة (Dunkle). الدورات الموضحة فى الشكل (8/13) توضح عمل الطبقة الزلطية عند استخدامها فى التبريد.

التبريد بالتبخير يمكن كذلك استخدامه لتحسين التبريد. فى الليل، الهواء البارد خارج المنزل يتم تبريده بالتبخير قبل المرور خلال الطبقة الزلطية شكل (8/13-أ). لذلك يتم تبريد الهواء إلى درجات حرارة منخفضة. خلال وقت النهار اتجاه تدفق الهواء يتم انعكاسه ويمر خلال الطبقة الزلطية الشكل (8/13-ب). مثل هذا النظام مناسب للمناخ حيث سماء الليل تكون صافية وتكون الرطوبة منخفضة، كما فى الصحراء.

هذا النظام ليس فعالا كنظام تبريد شمسى، رغم استخدامه لطبقة الحبيبات الزلطية المستخدمة كذلك فى نظم التدفئة الشمسية.



شكل (13/8) تشغيل التخزين الحرارى (طبقة الزلط) كمصدر لتكييف الهواء

الفصـــل الرابع عشر

التوليد الشمسي للطاقة الحراريـــة

Solar Thermal Power Generation

1- مقدمة :

يوجد نوعين أساسيين من الطاقة التى يمكن تحويل الإشعاع الشمسى إليهم للاستخدامات العملية. أحدهما هو الحرارة والآخر هو الكهرباء. الحرارة يتم الحصول عليها عند امتصاص الإشعاع الشمسى بواسطة سطح أسود. هذه الحرارة يمكن عندئذ أن تستخدم فى طرق كثيرة والتى يمكن تقسيمها إلى قسمين.

الاستخدامات الحرارية المباشرة مثل تسخين الماء، التجفيف، التقطير، الطهى.الخ. والاستخدامات التى تتضمن القانون الثانى للديناميكا الحرارية مثل إنتاج طاقة ميكانيكية والتبريد..الخ. نظام إنتاج الطاقة الميكانيكية هذا يسمى نظام إنتاج الطاقة لحرارية. بالنسبة لتحويل الطاقة الشمسية إلى الطاقة الكهربية فإنه يمكن عمل ذلك بواسطة إنتاج الطاقة الحرارية أو التحويل المباشر للإشعاع الشمسى إلى طاقة كهربية. فى التحويل المباشر للطاقة الشمسية إلى الكهرباء فإنه يمكن استخدام الفولتية الضوئية (Thermo ionic, Thermo electric, Photovoltaic, photochemicals).

توليد الطاقة الحرارية بالطاقة الشمسية يستخدم دورات طاقة (Power Cycles) التى تنقسم إلى الدورات ذات درجة الحرارة المنخفضة والمتوسطة والمرتفعة. دورات درجة الحرارة المنخفضة تستخدم عموماً المجمعات ذات اللوح المستوى حيث أن أقصى درجة حرارة تكون محدودة عند حوالى 100°م. دورات درجة الحرارة المتوسطة عند أقصى درجات حرارة تتراوح من 150 - 300°م، بينما دورات درجة الحرارة المرتفعة تعمل عند درجة حرارة أعلا من 300°م.

بالنسبة لمجالات درجة الحرارة المنخفضة والمتوسطة تكون الدورات الحرارية الديناميكية (Thermodynamic) المفضلة هي دورة (Rankine). بالنسبة لمجال درجة الحرارة المرتفع بخلاف دورة (رانكن)، فإن دورات (Brayton, Stirling) هما المستخدمين.

يمكن تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية بواسطة مجمعات اللوح المستوى أو البؤرى (Focusing). الطاقة الحرارية تلك عندئذ وكمبدأ تستخدم لتشغيل محرك حرارى (Heat Engine) الذى يحول الطاقة الشمسية إلى طاقة ميكانيكية. المشكلة الأساسية تبدو من حدود درجة الحرارة للمجمعات الشمسية، نظام الإمداد بالطاقة الشمسية يعمل جيداً عند درجات الحرارة المنخفضة، بينما المحرك الحرارى يكون أكثر كفاءة عند مدخلات الطاقة عند درجات الحرارة العالية. المشكلة حادة من الناحية العملية مع مجمعات اللوح المستوى والتى هى الآن محدودة باعتبارات عملية لإنتاج

الطاقة ربما 100^{o}م أعلا من درجة الحرارة العادية وهذا بالتالى، ينتج انخفاض فى الكفاءة الحرارية للمحرك الحرارى.

المجمعات البؤرية (التركيز Focusing) التى توفر طاقة عند درجة حرارة أعلا ليست تجهيزات عملية. فى مثل هذه الظروف فإن التكاليف المستهدفة للطاقة الميكانيكية (أو الكهربية) من الطاقة الشمسية لم تظهر قبول.

المحاولات التجريبية لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة حرارية تمت منذ عام 1955. لقد قام (Hottel) بعمل تحليل لتوليد الطاقة باستخدام مجمعات اللوح المستوى ذات انعكاسية منخفضة وأغطية زجاجية ذات امتصاص ضعيف، ومحركات حرارية تعمل ما بين 150^{o} إلى 38^{o}م . وهناك أبحاث كثيرة فى هذا المجال.

وخاصة باستخدام القطع المكافئ الأسطوانى كمجمع بؤرى.

تقنيات نظام الطيف الشمسى للطاقة الحرارية يتراوح من غير متتبع (Non Track) لنظم درجة الحرارة المنخفضة لتحويل الطاقة إلى مجمعات تركيز النقطة البؤرية (القطع المكافئ) المبنى على نظام درجة الحرارة العالية حيث يوفر تدفقاً عالى الكثافة إلى نظام تحويل الطاقة الكفؤ.

يوجد نوعين من نظم التجميع الحرارى وتوليد الطاقة

1- النظام المركزى (مفهوم البرج).

2- النظام المنشر (مفهوم الحقل).

النظام المنتشر له العديد من المتغيرات وعموماً يتميز عن النظام المركزى كالآتى:

أ- الطاقة من كل من الرقم المنفرد للمستقبلات (Discrete Number of the Receivers) يتم جمعها إما فى الشكل الحرارى أو الشكل الكهربى .

ب- مستقبلات (Receivers) للنظام المنتشر يمكن عموماً تحريكه طبقاً لآلية تتبع الشمسى المستخدمة.

الحقل الشمسى يكون أساساً بهدف الإمداد الغير مركزى لعملية الحرارة والكهرباء فى المجال عدة مئات قليلة إلى آلاف قليلة من الكيلوات على التوالى. يوجد تخطيط لهوائى مجمعات التركيز لتتبع الشمس. هنا يكون متصل مع كل وحدة مجمع عدد من المحركات الصغيرة عند نقطة بؤرية، وإجمالى الخرج يتم تجميعه. فى النظام البرجى، يوجد حقل من المتتبع الشمسى (الذى هو عبارة عن مرآة دوارة لتركيز أشعة الشمس فى مكان واحد Heliostat) يقوم بتركيز الإشعاع الشمسى الساقط مباشرة غلى المستقبل المركزى المركب على قمة البرج. مائع الانتقال الحرارى (مثل Hytherm 500)

يزيل الحرارة من المستقبل وفى بعض الحالات يحملها إلى وحـدة تخـزين حـرارى أخرى. هذا الانتقال الحرارى يستخدم لتشغيل محطة طاقة كهربية.

الحرارة المنتجة فى مختلف الطرق تتوقف على نسبة التركيز والفقد الحرارى فى النظام ودرجة حرارة سائل التشغيل (Working fluid) تتوقف على عدد درجات التتبع لحركة المركزات. ميزة نظام الحقل (Farm concept) مقارنة للنظام المركزى هو أنه يشمل مظهر التغيير ولذلك يوجد احتمال اقتراب خفض التكلفة بسبب الإنتـاج الـوفير للعديد من الوحدات المشابهة.

وهو يوفر كذلك ميزة الصيانة والمسافات البعيدة (Over hauling). كذلك يمكـن توليد الطاقة الحرارية الشمسية باستخدام نظام حوض القطـع المكـافئ (المجمعـات الأسطوانية ذات القطع المكافئ). تلك المجمعات تتكون من حوض له مقطـع القطـع المكافئ الذى يركز الإشعاع الشمسى على أنبوب الامتصاص الموضوع عنـد بـؤرة القطع المكافئ. بواسطة السائل الدوار، يتم إزالة الحرارة من أنبوب المـاص الـساخن التى تكون مغطاة بطبقة طلاء مناسبة إما بواسطة الطلاء الأسود العادى أو بطـلاءات مختارة، ويمكن إحاطة فى أنبوب مفرغ شفاف لخفض الفقد الحرارى بالحمل الحرارى. فى هذه الحالة فإن مجال درجة حرارة المائع قد تصل إلى 400°م. هذا المائع الـساخن يتم عندئذ استخدامه لتوليد الطاقة أو لأغراض أخرى. عمومـاً محـرك دورة رانكـن العضوية (Organic Rankine Cycle) أو تربين البخـار أو محـرك البخـار يمكـن استخدامهم فى إنتاج الطاقة.

فى النظام المنتشر لتوليد الطاقة تم إدخال نظام (Hybrid). فى هـذا النظـام يـتم تسخين مائع التشغيل بواسطة الطاقة الشمسية إلى أقصى ما يمكن بواسطة نظام المجمع الشمسى ذو الكفاءة العالية والاعتمادية ومنخفض التكاليف ثم يتم زيادة درجة حـرارة مائع التشغيل باستخدام الوقود التقليدى إلى المستوى المطلوب بحيث أن نظـم تحويـل الطاقة المستخدمة فى محطة الطاقة التقليدية يمكن الاستفادة منها والتكلفة الكلية يمكـن خفضها والحصول على خدمة يعتمد عليها. عموما يستخدم نظام مجمـع الحـوض ذو القطع المكافئ فى نظام (Hybrid) لإنتاج الطاقـة (Hydrid = خلـيط هيـدروكربونى بترولى).

فى نظام برج التركيز الشمسى، يتم تركيز الإشعاع الشمسى القادم فـى مـستقبل مركزى أو غلاية مركبة على برج طويل باستخدام الآلاف من العاكسات المستوية التى تدور حول محورين ويسميا (Heliostats) أى المتتبعة الشمسية أو المرآة الدوارة التى تعكس أشعة الشمس فى اتجاه واحد.

محطة الطاقة الحرارية بقدرة 50 كيلوات تم بناءها وتشغيلها فى إيطاليا باستخدام المرايا. من بين واحدة من أكبر محطات الطاقة الشمسية فى العالم التى بدأت إنتاجها عام 1979 عند (Dire) وهى مدينة على شواطئ نهر النيجر. استخدامها سوف يكون لتوليد الكهرباء، الرى، الضخ للمياه، التبريد.

النتائج الحالية أظهرت أن الطاقة الشمسية يمكن أن تكون منافسة إلى حد ما للمصادر الأخرى للطاقة إذا كان محطة البرج الشمسى حوالى من 100 - 200 (MWe) ميجاوات معادل، مع 3 - 6 ساعات تخزين حرارى.

شركة أريزونا للخدمة العامة اقترحت بناء محطة طاقة برج شمسى بارتفاع 175متر مربع للمرآة. عند غلاية المركز يتم تسخين خليط من كلوريد الصوديوم 60% ونترات البوتاسيوم 40% إلى درجة حرارة أعلا من 550^{o}م وخليط الملح المنصهر يتم نقله إلى خزان الحفظ، يليه توليد البخار والتربين. المحطة سيكون لها القدرة على خدمة ما يعادل 370.000 برميل من الزيت فى العام.

خلال السنوات القليلة الماضية، تم بناء القليل من تجارب محطات الطاقة البرجية أو تحت الإنشاء فى الولايات المتحدة، فرنسا، إيطاليا واليابان. أضخم واحدة كانت فى نيومكسيكو. وقد كان لها هليوستات من 222 مرآة كل ذات 45 متر مربع، مقطعة إلى سطوح صغيرة بعدد 25 مرآة. السطوح الصغيرة (Facets) ذات تشكيل ميكانيكى بحيث أن الطاقة المنعكسة يتم تركيزها بؤريا. الهيليوستات (Heliostats) يتم تركيبها ركوبة سمتيه ارتفاعية (Ultrazimuth). ويتم التحكم فى حركتها بواسطة الحاسب الآلى. مصفوفة الهليوستات قادرة على تركز ما يزيد عن 5 مليون وات حرارى من الطاقة عند أفضل حالات الشمس، وحالات الهليوستات والغرض.

مبدأ توليد الطاقة الحرارية الشمسية :

Principle of solar thermal power generation:

فى نظام إنتاج الطاقة الحرارية الشمسية يتم أولا تجميع الطاقة باستخدام البركة الشمسية (solar ponds)، مجمع السطح المستوى أو مجمع التركيز البؤرى. هذه الطاقة تستخدم لزيادة الطاقة الداخلية أو درجة حرارة المائع. هذا المائع يمكن استخدامه مباشرة فى أى من الدورات المعروفة عادة مثل دورات (Stirling, Brayton, Rankine) خلال المبادل الحرارى لتسخين المائع الثانى (مائع التشغيل) والذى يتم استخدامه فى الدورة لإنتاج الطاقة الميكانيكية التى يمكن منها إنتاج الطاقة الكهربية بسهولة.

سيتم مناقشة الثلاث نظم الآتية:

1- الدورات ذات درجة الحرارة المنخفضة باستخدام مجمع اللوح المستوى أو البركة الشمسية.

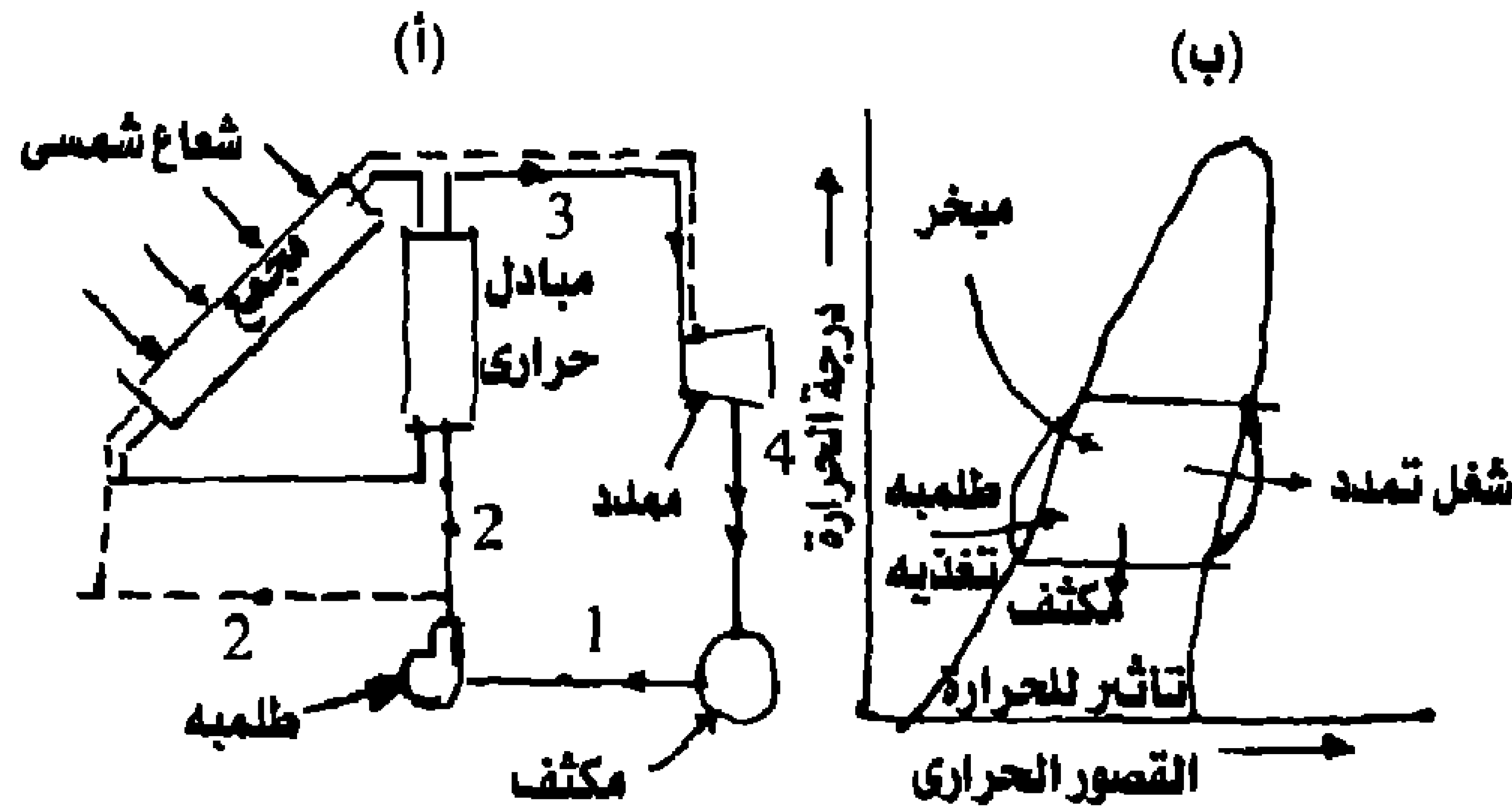
2- مجمعات التركيز لدورة ة الحرارة المتوسطة والعالية.

3- نظام مفهوم برج الطاقة (Power Tc er).

1- نظم درجة الحرارة المنخفضة:

يصنف كلاً من اللوح المستوى والبركة الشمسية أنهما مجمعات درجة الحرارة المنخفضة ذلك لأن درجة الحرارة التى يمكن الحصول عليها هى ما بين 60 - 100^oم، مع كفاءة جمع من 30 - 50%. فى حالة استخدام دورة رانكن لإنتاج الطاقة الحرارية الشمسية، نظراً لأن درجة حرارة المائع (الماء) هى عادة أقل من 100^oم (مع البركة الشمسية أقصى درجة حرارة محددة عند 80^oم) وليس من الممكن توليد بخار بواسطة مجمع اللوح المستوى أو البركة الشمسية، لذلك فإنه يمكن استخدامه لتشغيل المحرك الأولى (Prime mover). لذلك يستخدم بعض من مائع عضوى آخر (مثل مجموعة الفريون ..الخ) التى تتبخر عند درجة حرارة منخفضة وضغط عالى بامتصاص الحرارة من الماء الساخن. البخار المتكون يمكن استخدامه لتشغيل التربين أو المحرك الذى يمكن أن يولد طاقة، والتى سوف تكون كافية لإضاءة عدد من المنازل للتجمعات الريفية والأغراض الرى.

مخطط لأساس دورة رانكن لنظام إنتاج الطاقة موضح فى الشكل (1/14). كذلك فإن خطط T-S للدورة موضع – دورة رانكن هى بديل لدورة كارنوت (Carnot) النظرية حدث أنها الأكثر استخداماً ليس فقط لإنتاج الطاقة الحرارية ولكن لمحطات الطاقة التقليدية. العمليات المختلفة التى تشمل الدورة هى:



شكل (1/14) مخطط لدورة رانكن الشمسية

1- عملية الضخ فى الطلمبة العكسية بـدون التبـادل الحـرارى (Reversible Adiabatic)
2- الانتقال للحرارة عند ضغط ثابت فى البخار/مولد بخار الماء.
3- التمدد العكسي بدون التبادل الحرارى فى المداد (Expander) (مثل التـربين، المحرك الترددى الكباس..الخ).

الانتقال الحرارى عند ضغط ثابت فى المكثف:

دورة رانكين لها كذلك إمكانية التسخين الفائق للبخار الغير موضح فى الشكل يوجد عدد من أشكال النظم تحت التطوير تحت التصنيف الأساسى لدورة رانكن (Rankine cycle) بنظام إنتاج الطاقة الحرارية. ولكن الاختبارات الرئيسية فى هذا المجال تشمل:

أ- اختيار نظام التجميع وضغط ودرجة حرارة تشغيل الدورة.

ب- اختيار مائع التشغيل.

جـ- اختيار نظام التخزين.

أ- اختيار نظام التجميع (المجمعات الشمسية):

مجمع اللوح المستوى أو البركة الشمسية (المركز لدورة درجة الحرارة العاليـة) يمكن استخدامهم. مجمع اللوح المستوى يمكن أن يكون بسيطاً أو بغطاء انتقائى. يمكن الحصول على درجة حرارة حتى 100^oم يمثل هذه المجمعات. فى حالة البركة الشمسية تكون أقصى درجة حرارة محدودة عند 80^oم. رغم أن البركة الشمسية هـى تجهيـزه جمع منخفضة التكاليف وتعمل كخزان. كذلك ولكن بسبب بعض القيود الأخرى فإنه لا يمكن أن تكون الاختيار الوحيد عند درجة الحرارة المنخفـضة. باسـتخدام مجمعـات التركيز يمكن الحصول على درجة حرارة حتى 1000^oم ولكن التكاليف الإضافية للتتبع مع زيادة فى الكفاءة الكلية للنظام يجب أن تؤخذ فى الاعتبار. تزداد كفاءة دورة رانكن مع درجة حرارة الغلاية بينما تنخفض كفاءة المجمعات الشمسية مـع ارتفـاع درجـة الحرارة، لذلك فإنه يجب معرفة أفضل درجة حرارة تشغيل للغلايـة باعتبـار عـدة مجمعات ودورة رانكن مع تكلفتهم والتكلفة الكلية يجب أن تقل. اختيار المجمع يعتمـد جزئياً على المائع المطلوب أو يمكن أن يقال العكس صحيح. بفرض مائع تـشغيل ذو درجة حرارة غليان مرتفعة ليتم استخدامه عندئذ فإن استخدام البركة الشمسية أو مجمع اللوح المستوى الشمسى لا يرتفع. بالمثل إذا كان المطلوب استخدام البركـة الشمـسية كتجهيزه تجميع الطاقة الشمسية فإنه يتم استخدام سائل التشغيل ذو درجة حرارة غليان منخفضة.

3- اختيار سائل التشغيل: (Choice of the working fluid)

كما سبق ذكره أن المائع الأولى المتجه نحو المجمع والمائع الثانى المتجه نحو محطة الطاقة يمكن أن يكونوا واحداً أو مختلفين كل عن الآخر. باستخدام نفس المائع خلال النظام له ميزة عدم وجود المبادل الحرارى. نفس الميزة عند الاستخدام بمجمعات اللوح المستوى هى أن كمية كبيرة من سائل التشغيل ذو درجة حرارة المائع، والمجمع يجب أن يعمل عند ضغط أعلا، لذلك يكون من المفيد جداً استخدام موائع مختلفة للمحطة ذات طاقة أعلا 10 - 100 كيلووات.

اختبار مائع التشغيل يتوقف على درجة حرارة التشغيل فى الغلاية والمكثف ونوع الممدد (Expander) المطلوب استخدامه. عموماً يتم استخدام المائع إما الماء أو المائع العضوى (مجموعة الفريون..الخ) كمائع تشغيل. الخواص المطلوبة كمائع التشغيل يمكن ترقيمها كالآتى:

1- طبيعة منحنى التشبع – هذا سوف يعين إلى حد كبير كيف تقترب الدورة العملية مع حدود الكفاءة النظرية.

2- ضغط التشغيل للدورة الاعتبار الهام نحو جانب الضغط المنخفض هو المناخ فهو إما دون الجوى أو الجوى. ولكن أقصى ضغط لسائل التشغيل يقرر تعقيد النظام إلى حد معين. كلاً من الحجم المعين والحرارة الكامنة كلا تلك الصفتين يقررا معدل التدفق الحجمى لخرج طاقة معينة والإحكام الجزئى لاختبار المحركات الأولية.

3- اعتبارات أخرى مثل الثبات الكيميائى وعدم العدوانية خلال درجة حرارة التشغيل، الانتقال الحرارى الجيد وخواص التدفق..الخ.

اختيار نظام التخزين:

نظام التخزين مطلوب فى كل نظم التوليد الحرارى للطاقة سواء كانت نظام توليد الطاقة بدورة (Rankine) أو بدورة (Stirling) أو بدورة (Brayton). بسبب الطبيعة والمتغيرة للطاقة الشمسية، فإن كل نظام بالطاقة الحرارية الشمسية يجب أن يكون له نظام تخزين الذى يمكنه نصف الطاقة الساقطة ذات التموج الجيبى (Half sinusoidal incident energy) على طاقة حرارية ذات درجة حرارة ثابتة وتوفير الطاقة لتوليد النظام خلال ساعات عدم سطوع الشمس. يمكن عمل التخزين الشمسى خلال الآتى:

* تخزين الحرارة المحسوسة، تخزين الطاقة فى مادة تغير المجال، تخزين التفاعل الكيميائى، والتخزين الكهروكيميائى. فى حالة توليد الطاقة باستخدام البركة الشمسية فإن التخزين يكون غير مطلوب.

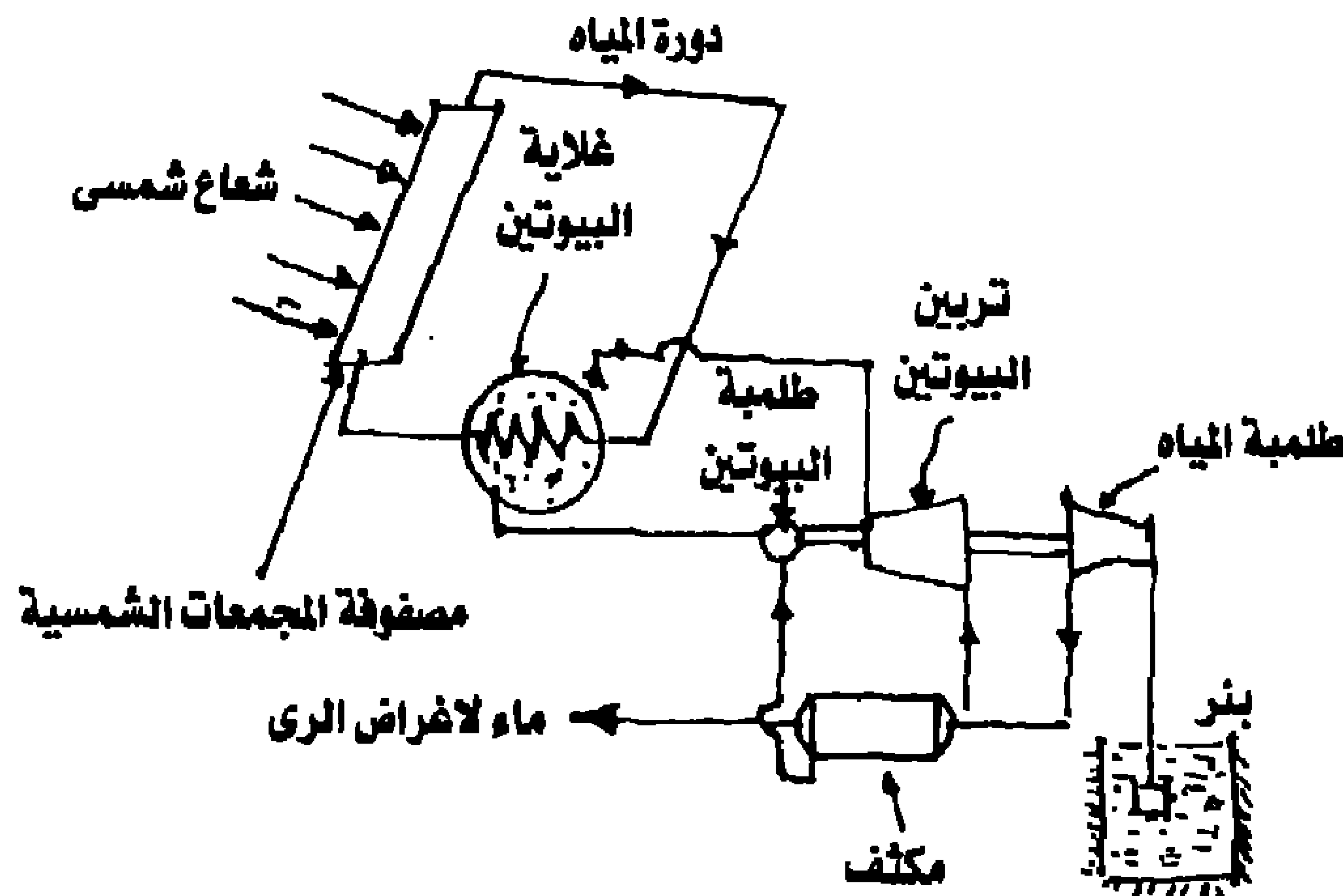
نظام التوليد الحرارى للطاقة بواسطة دورة (Rankine):

Rankine cycle thermal power generation system:

لتحويل الطاقة الشمسية إلى كهرباء خلال التحويل الحرارى، قامت الأبحاث فى العالم بعمل كبير لمختلف النظم ذات الطاقات العديدة. دورة رانكن بالمائع العضوى تم استخدامها كثيراً فى تلك الدراسات. أداء التطوير للتوليد فى مجال طاقة شمسية حرارية عالى فى المجال عند 10 كيلوات وأعلا حتى عدد ميجاوات، فى كثير من دول العالم. تم تطوير النظام باستخدام البركة الشمسية، لوح التجميع المستوى، مجمع التركيز البؤرى (من نوع التوزيع) أو التتبع. نظام التتبع (Heliostat) يستخدم عادة فى المجال العالى الكبير لإنتاج الطاقة بالحرارة الشمسية (حول ميجاوات). وسيتم وصفة لاحقاً.

المحرك الشمسى ذو درجة الحرارة المنخفضة، باستخدام الماء الساخن من مجمع اللوح الشمسى المستوى والبيوتان (Butane) كمائع للتشغيل كما فى الشكل (2/14) التى تم تطويرها فى فرنسا لرفع الرى. النظام له مصفوفة من مجمعات اللوح المستوى لتسخين الماء حتى قريباً من 70°م وفى المبادل الحرارى، تستخدم حرارة الماء لغلى البيوتان. بخار البيوتان ذو الضغط العالى يحرك تربين البيوتان الذى يقوم بتشغيل طلمبة هيدروليكية التى تضخ الماء من البئر واستخدامه فى الرى. عادم بخار البيوتين من تربين البيوتين يتم تكثيفه فى مكثف بمساعدة الماء الذى يتم ضخة بواسطة الطلمبة. هذا المكثف يتم دفعه نحو المبادل الحرارى أو غلاية البيوتان.

هذا النظام مطبق لمحطات القوى الصغيرة ذات طاقة حوالى 10 كيلوات. له ميزة البساطة. محطة الطاقة بدورة رانكن باستخدام البرك الشمسية سيتم مناقشتها فى فصل البرك الشمسية.

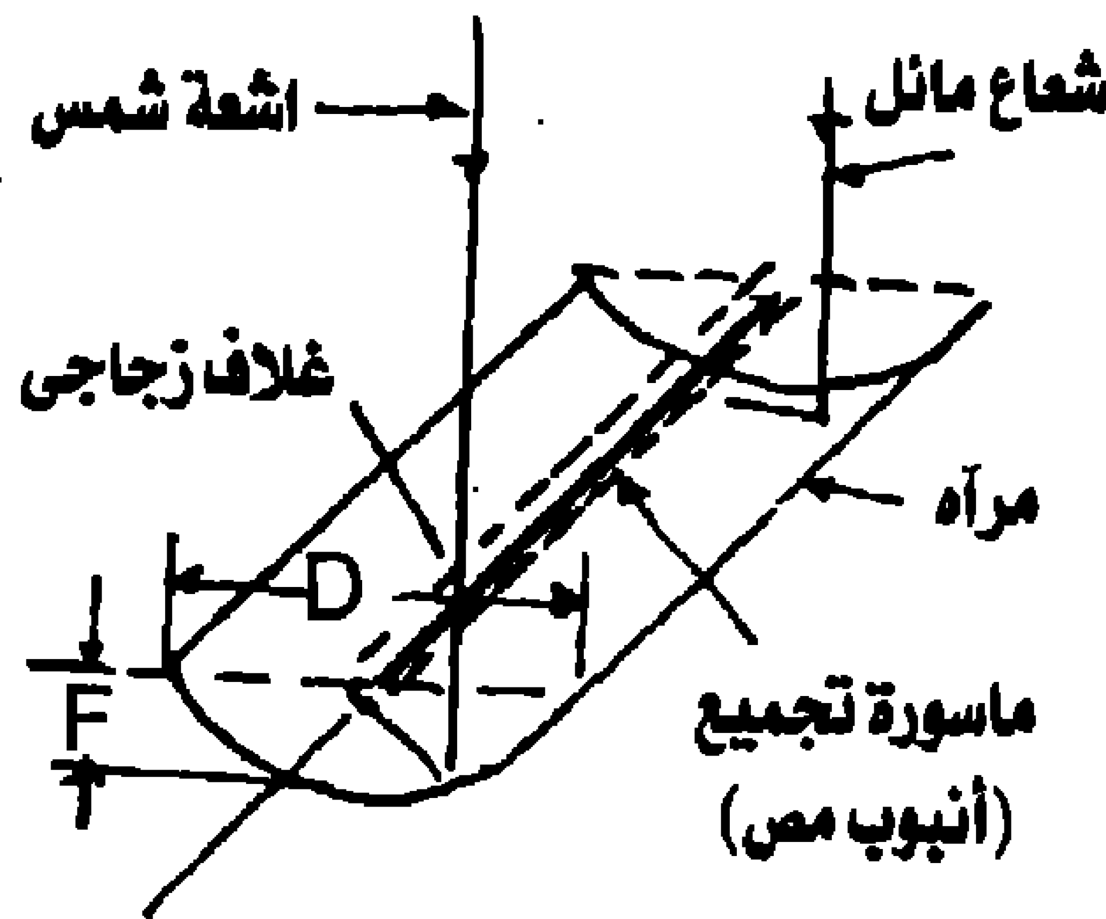


شكل (2/14) مخطط لمحطة طاقة شمسية ذات درجة حرارة منخفضة

نظام درجة الحرارة المتوسطة بمجمعات التركيز :

Medium temp systems with concentrating collectors:

مجمعات التركيز الأسطوانية بالقطع المكافئ (نظام الخط البؤرى) تعطى درجة حرارة من 250 إلى 700°م بكفاءة من 50 - 70%. مجمعات درجات الحرارة المرتفعة مثل مركزات نوع القطع المكافئ تتكون من كثير من المرايا المستوية تعطى درجة حرارة فى المجال من 600 - 2000°م بكفاءة من 60 - 70% المركز البسيط الأسطوانى بالقطع المكافئ لنظام درجة الحرارة المتوسطة موضح فى الشكل (3/14).

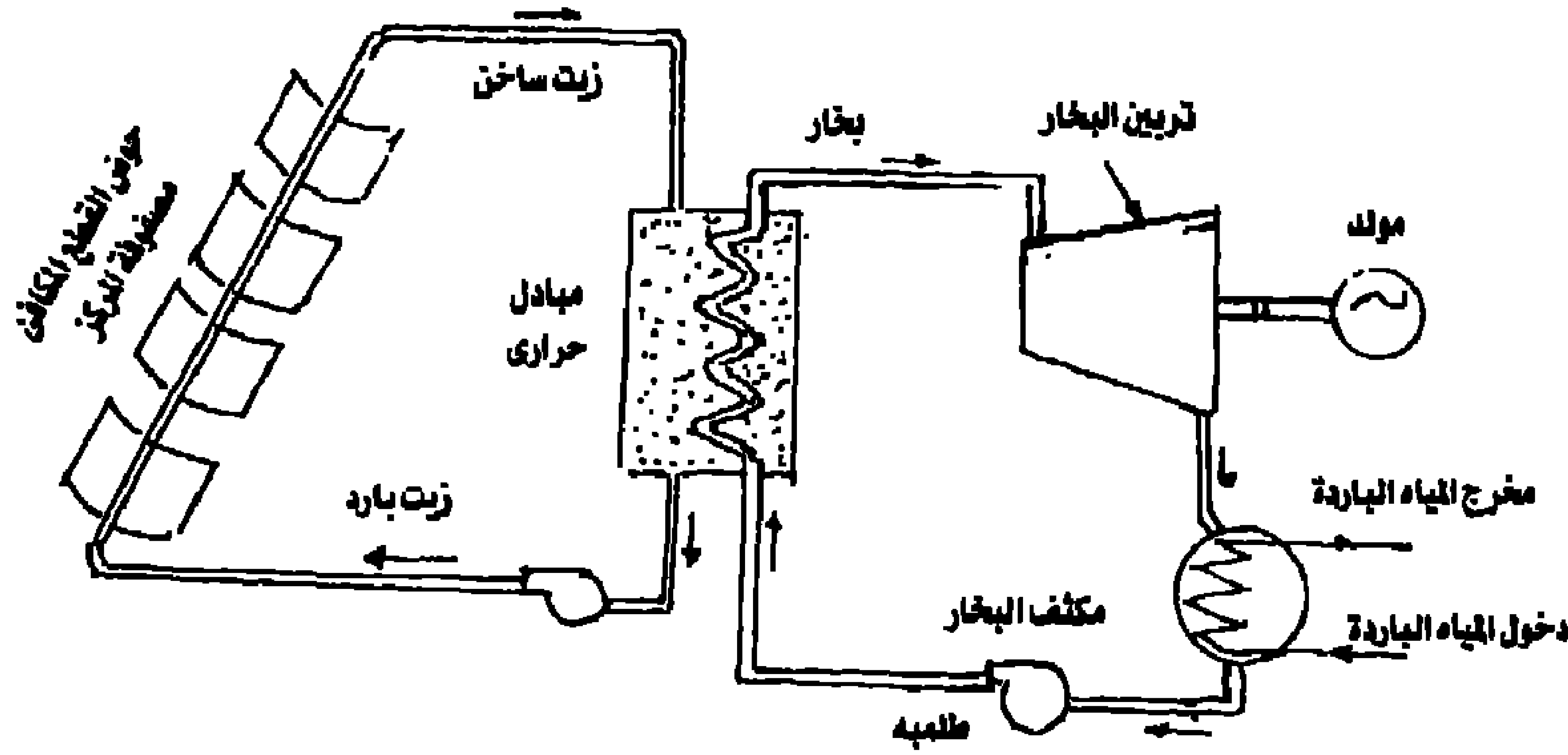


شكل (3/14) الشكل الهندسى للمركز الاسطوانى ذو القطع المكافئ

وهو يتكون من عاكس أسطوانة القطع المكافئ لتركيز ضوء الشمس على ماسورة التجميع خلال غلاف من الزجاج أو الزجاج المقاوم للحرارة (Pyrex) يتم استخدام طلاء تفضيلى من مادة مناسبة على الماسورة لخفض انبعاث الأشعة تحت الحمراء. الفراغ ما بين الأنبوب الشفاف المحيط بالماسورة يمكن تفريغه لخفض الفقد الحرارى بالحمل الحرارى. يتم عمل تنظيم مناسب لتتبع الشمس بحيث يتم تركيز أقصى ضوء الشمس على العاكس.

نظام الخط البؤرى (Line focus) الذى يسمى كذلك النظام الحوضى (Trough system)، يستخدم مركزات فى شكل أحواض طويلة ذات مقطع أسطوانى أو قطع مكافئ المبطن بالمرايا لجمع وتركيز الإشعاع الشمسى نحو مسار (ماسورة) الطول البؤرى (Focal linear conduit) خلالها يتدفق المبرد الأولى. بسبب شكلهم الهندسى مثل هذه الأحواض تصنع عادة لتتبع الشمس فى مستوى واحد فقط، وذلك بدورانها حول خطهم البؤرى. لذلك، بخلاف شمس الظهيرة، فإنهم يستقبلوا أشعة الشمس التى تكون أكثر ميلاً بالنسبة لسطحهم المسقط (projected surface) مع حيود الشمس من شمس الظهيرة. لذلك فإنهم يعملوا عادة فى مجالات درجة حرارة منخفضة

حوالى من 90 - 315°م. نظام الخط البؤرى يعتقد أنه مناسب فقط لنظم التوليد الكهربى ذات الحجم الصغير حيث الكفاءة الحرارية تكون ليست ذات أهمية أولى وكذلك لاستخدامات أخرى مثل لتشغيل طلمبة رى، توفير الحرارة للعمليات الصناعية، تدفئة الفراغ والتبريد، وبعض الاستخدامات الصناعية الأخرى، ولكن ليس للمولدات الكهربية ذات الطاقة الكبيرة، الشكل (4/14).



الشكل (4/14) مخطط لطريقة توليد الطاقة الشمسية باستخدام مركزات اسطوانية القطع المكافئ (التركيز الخطى)

مجمعات التركيز المستخدمة للأسطح العاكسة لتركيز أشعة الشمس على المستقبل أو الماص حيث الطاقة الشمسية تسخن مائع دواره المائع الساخن يمكن عندئذ استخدامه مباشرة فى عملية صناعية، لتشغيل تربين للأداء الميكانيكى أو التوليد الكهربى.

نظم التخزين الحرارى تقوم بتجميع (Accumulate) الطاقة الحرارية لاستخدامها خلال الجو الملئ بالسحب أو ليلاً. عادة، سعات نظم التخزين تتراوح من التخزين الدرئ (Buffer) لفترات قصيرة كما فى حالة مرور السحاب، إلى فترة طويلة بحوالى 6 ساعات. النسق المعيارى (Modularity) هو ميزة نظام حوض القطع المكافئ. معيار المجمع الأساسى هو صف من الأحواض متصلة لتشغيل المحرك الذى يدور معيار الحوض (Trough Module) حول المحور الفردى لتتبع مكان الشمس. نظام تحكم يربط كثير من المعايير (Modules) طبقاً للمطلوب لرفع المائع فى الأحواض فى درجة حرارة خروج موصفه، مادون النظام (Subsystem) يسمى حلقات دلتا T (Delta T loops) والمصفوفة لمثل هذه الحلقات تسمى الحقل (field). الحقل يمكن أن يتكون من حلقة واحدة أو الكثير منها، طبقاً للطاقة المطلوبة لاستخدام معين.

نظم حوض التتبع بالمحور الواحد يكون ذو أداء محبب وتكلفة مؤثرة فى مجال درجة الحرارة المتوسطة أى من 100° إلى 350°م. متطلبات الطاقة خلال هذا المجال

تكون كبيرة، وتشمل تسخين العمليات الصناعية، إنتاج طاقة ميكانيكية أو كهربية مثل الضخ لمياه الرى، توليد البخار لاستعادة الزيت، وإنتاج الطاقة الكلية أو التوليد المزدوج (Cogeneration) أى توفير كلا من الكهرباء وعمليات التسخين المباشرة المكونات الخمس لنظام حوض التقطع المكافئ هى:

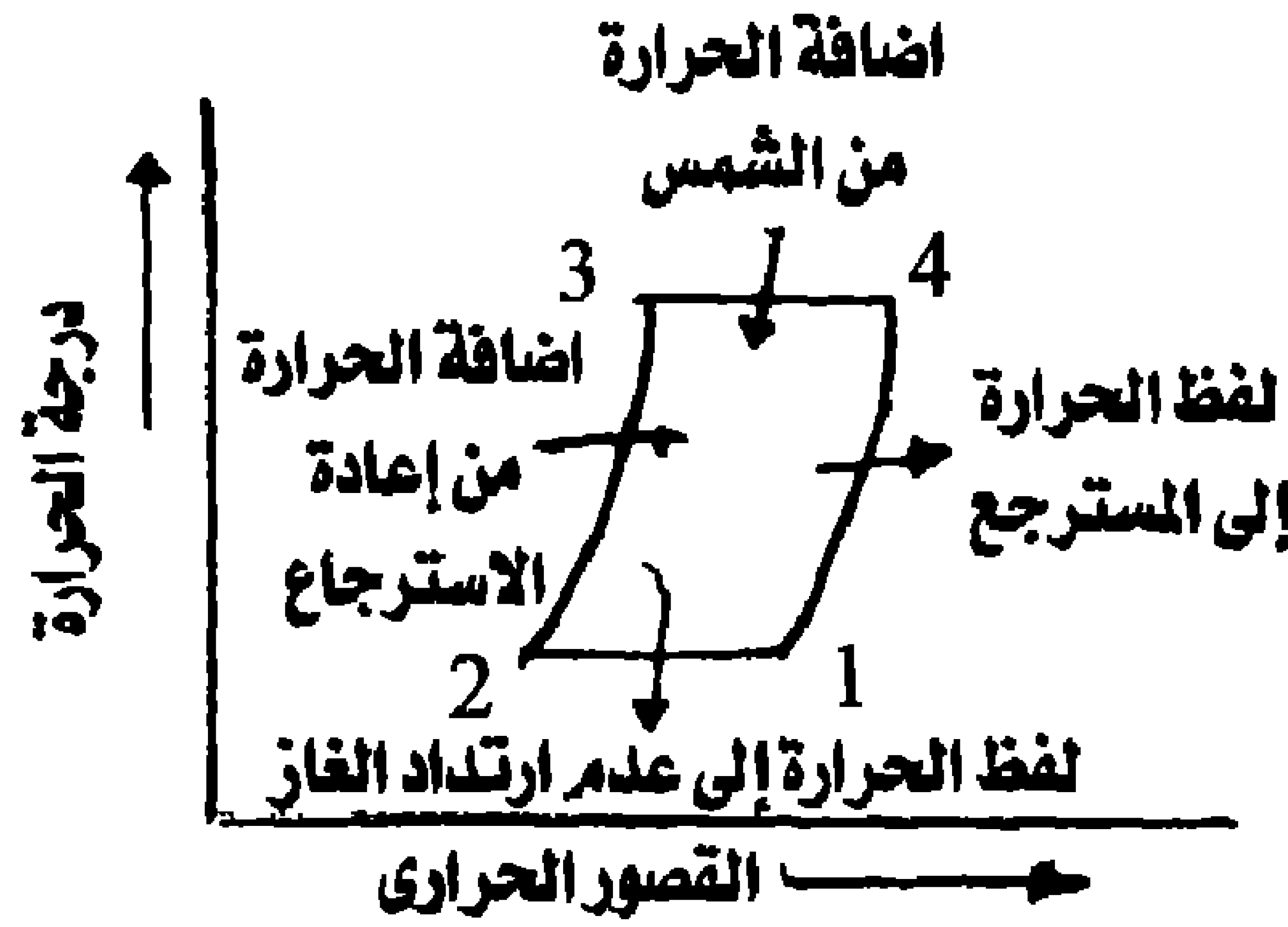
1- المركز مع الحامل ونظام التشغيل.
2- المركز المستقبل.
3- انتقال الحرارة.
4- التحكم.
5- التخزين الحرارى (إضافى).

مختلف نظم التركيز الخطى، تسمى قصعة الخط البؤرى Focal line Bowl أو نظام القصعة الشمسية (Solar Bowl concept)، وهى تتضمن مجمع المرآة المثبتة، المشكلة فى شكل نصف دائرة ومائلة إلى أعلا بالنسبة للأفقى على طول خط الشمال-الجنوب طبقاً لبعد المكان عن خط الاستواء المستقبل الأسطوانى الرفيع، ذو لفة الأنابيب المموجة على الماسورة (Helical tubing on pipe). تكون محملة بواسطة كمرة كابولى مرتكزة على محور مزدوج محمل لتتبع الشمس. النظام يمكنه تحويل الماء المضغوط إلى البخار المحمص الذى يمكنه تشغيل التربين لإنتاج الكهرباء. يمكنه كذلك استخدام مائع انتقال حرارى آخر عند ضغط منخفض ودرجة حرارة منخفضة عن الماء للحرارة فى العمليات الصناعية ولتدفئة وتبريد المبانى. القصعات (Bowls) يمكن أن تكون أضخم من تجهيزات التركيز لوحدة واحدة نظراً لأن سطح الانعكاس لا يحتاج إلى تحريكه لتتبع الشمس. ثم تصميم قصعة شمسية بقطر 20 متر وإنشائها فى الولايات المتحدة لتعيين الجدوى الفنية للنظام.

دورة ستيرلنج لتوليد الطاقة الحرارية الشمسية :

Stirling cycle solar thermal power generation:

دورة ستيرينج هى مفهوم قديم، حيث اقترحه ستيرلنج عام 1818 فى شكلها الأصلى كان المحرك بطيئاً، وثقيلاً وغير كفؤ ومع تطوير محرك الاحتراق الداخلى تم إغفاله. وذلك مع أزمة الزيت عادت الأبحاث فى هذا المحرك حيث أصبح فى الإمكان أن يعمل بأى وقود بما فيه السولار. المحركات التى تعمل طبقاً لدورة ستيرلنج باستخدام الطاقة الشمسية تعتبر واعدة. مثل أى محرك حرارى فإن محرك ستيرلنج يسير خلال أربع عمليات أساسية من الضغط للتسخين، التمدد والتبريد. هذا موضح فى الشكل (14/5).



شكل (5/14) عمليات محرك سيرلنج

يوجد ثلاث أنواع رئيسية لمحرك سيترلنج وهما النوع (Alpha) المستخدم لعدد اثنين كباس. تلك الكباسات تضغط معاً مائع التشغيل فى الفراغ البارد، ويحركه نحو الفراغ الساخن حيث يتمدد ثم يحركه إلى الخلف.

نوع المحرك الثانى والثالث يستخدم مكبس وكباس إضافى (Displacer).المكبس يعمل الضغط والتمدد والكباس الإضافى يقوم بنقل الغاز من الفراغ الساخن إلى الفراغ البارد. تنظيم الكباس الإضافى مع مكبس القوة فى خط واحد يسمى المحرك من نوع (BETA) وإذا كان المكبس مجانباً من الكباس الإضافى (Offset)، ليسمح بتنظيم ميكانيكى بسيط، ويسمى النوع (Gama) لمحرك سيترلنج. بالنسبة للمكونات الرئيسية لنظم توليد الطاقة الحرارية الشمسية بدورة سيترلنج، تلك أساساً هى نظام مجمع المحرك الشمسى، مائع التشغيل، محرك سيترلنج والتخزين. استخدام المجمع الشمسى باللوح المستوى والبركة الشمسية لا يمكن عملهم لهذا النظام، مجمع التركيز البؤرى (القطع المكافئ) هو الاختيار الوحيد. كثيراً من موائع الاستخدام مثل الهواء، الهيدروجين، الهيليوم..الخ تمت محاولتها.

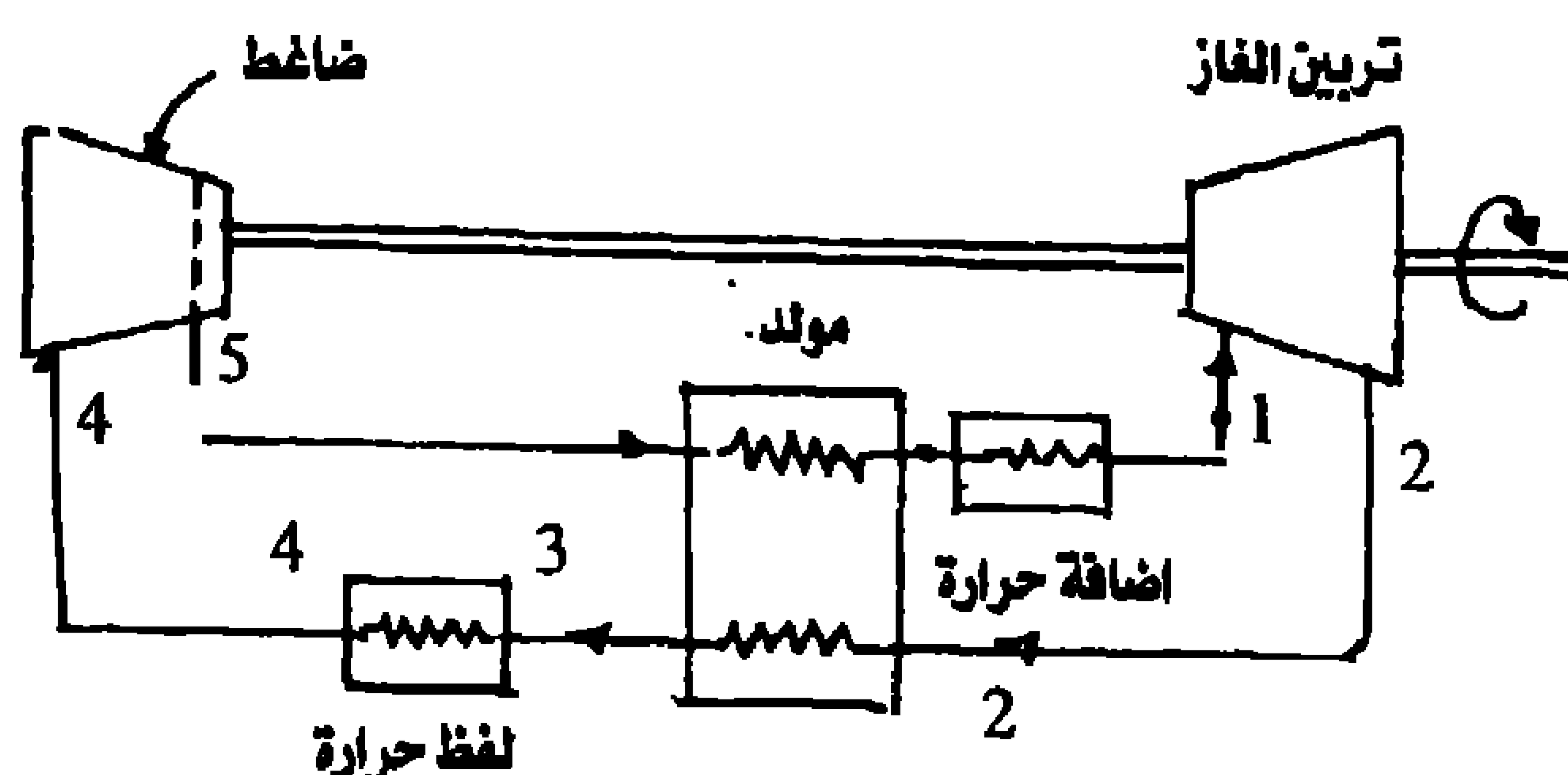
حدود دورة سيترلنج لنظم توليد الطاقة الحرارية الشمسية هى أنها تولد جزء من قوة الحصان حيث يوجد حدود عملية لحجم المركز ذو الثلاث أبعاد بسبب تحميل الريح وتتبعها.

التوليد للطاقة الحرارية الشمسية باستخدام دورة باريتون :

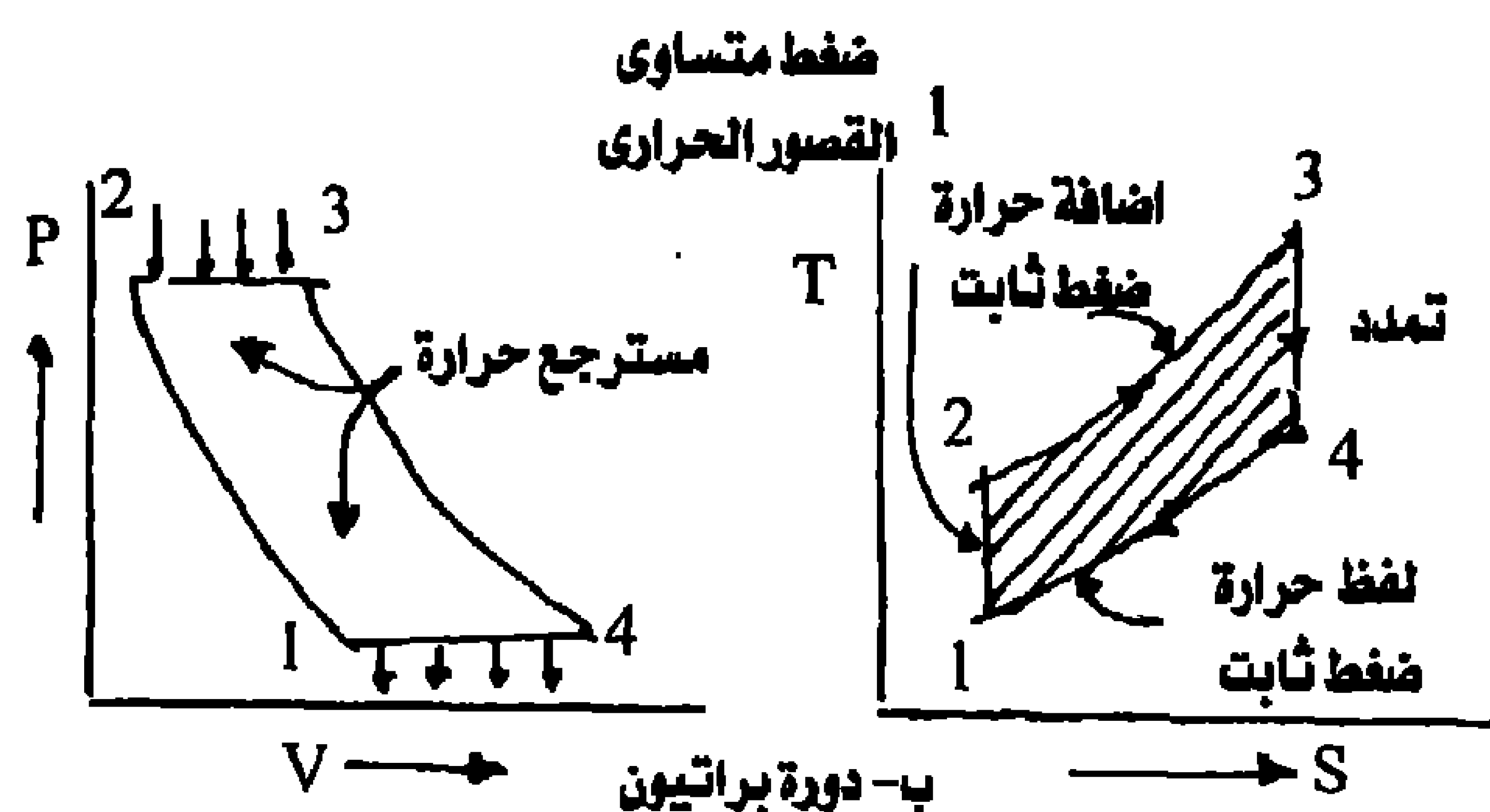
Solar thermal power generation using brayton cycle:

دورة برايتون هى دورة الطاقة الأساسية لمحطات الطاقة بتربين الغاز. القليل جداً من الأبحاث تم على هذه الدورة لتطبيقات الطاقة الشمسية بسبب التكاليف الرأسمالية. نوع المجمعات الشمسية من طراز الهيليوستات يفترض استخدامه فى هذا النظام

(الهيليوستات هى المتتبعة الشمسية). مخطط الدورة المقفلة لتربين الغاز لدورة برايتون موضح فى الشكل (6/14) مع مخطط PV , TS. دورة برايتون المقفلة باستخدام الضواغط الدوارة وتربينات الغاز تم تطويرها كلية فى مجال الميجاوات لتطبيقات الفضاء. ولكن هذه الدورة لم يتم محاولة استخدامها فى تطبيقات الطاقة الشمسية بسبب التكلفة الرأسمالية. كفاءتها تعتمد إلى حد كبير على نسبة الضغط فى النظام. فى نظام الطاقة الشمسية يكون الحصول على نسبة ضغط عالى مكلف. بعض معاهد الأبحاث تقوم بتطوير نظام الطاقة الشمسية باستخدام هذه الدورة.



أ- دورة مقلقه للتربين الغازى



ب- دورة براتيون

شكل (6/14) تربين الغاز القفل بدورة براتيون

المفهوم البرجي لتوليد الطاقة (محطة الطاقة بالمستقبل المركزى) : نظم درجات الحرارة العالية

Tower concept for power generation (central receiver power plant) High temp systems:

توجد طريقتين لتوليد الطاقة الشمسية وهما:

(A) الفرن الشمسى (Solar furnace) حيث فيه ينعكس ضوء الشمس من أماكن مختلفة كثيرة ويتم تركيزه على مبادل حرارى واحد.

(B) الحقول الشمسية (Solar farms) حيث عدد كبير من العاكسات الطولية (Linear Reflectors) تقوم بتركيز الإشعاع الشمسى على أنابيب طويلة التى تجمع الحرارة.

كلا النظامين الأساسيين لتحويل الإشعاع الشمسى إلى طاقة كهربية يسميا نظام المستقبل المركزى، ونظام المجمع المنتشر على التوالى.

فى نظام المستقبل المركزى (Central receivers system): المعروف باستخدامه فى لغة الحياة اليومية كبرج الطاقة (Power tower) فى التصميم، مصفوفة من المرايا التى تتبع الشمس (هيليوساتات) التى تعكس الإشعاع الشمسى على مستقبل مركب على قمة البرج المركزى. الطاقة الشمسية الممتصة فى المستقبل المركزى يتم إزالتها كحرارة بواسطة مائع الانتقال الحرارى وتحويلها إلى طاقة كهربية فى تربين المولد.

نظام المجمع المشتت قد يتكون من عدد من المجمعات من نوع القطع المكافئ (التركيز الخطى Line focusing) أو من نوع الطبق بالقطع المكافئ (Paraboloid dish - type) وهى مجمعات تركيز النقطة (Point focusing) مواسير الماص (أو المستقبلات) للمجمعات المنفردة يتم توصيلها بحيث أن كل المائع الساخن يتم حمله غلى مكان واحد حيث يتم توليد الكهرباء. الفرق الأساسى بين المستقبل المركزى ونظم المجمع المنتشر هو أنه فى الحالة الأولى تكون الطاقة الشمسية الساقطة على مساحة كبيرة يتم نقلها إلى نقطة مركزية كإشعاع ولكن فى الثانية، يتم حمل الطاقة كحرارة فى المائع.

التحليل للنظامين حيث يمكن أن يكون لهما تطبيقات مفضلة مختلفة.الفقد فى الطاقة فى النقل بالإشعاع أقل منه حالة النقل كمائع ساخن. لذلك، يمكن الحصول على درجة حرارة أعلا عند مدخل التربين بتصميم المستقبل المركزى عنه إذا كانت نفس كمية المائع تم انتقالها من المجمعات المنتشرة. كذلك، فى نظام المجمعات المنتشرة الكبيرة، التكاليف لخطوط المواسير الطويلة والطاقة المطلوبة لضخ مائع انتقال الحرارة خلالها سيكون كبيراً. ولكن تلك التكاليف يتم تجنبها إلى حد ما بالتكاليف العالية للهليوساتات وبرج المستقبل المركزى.

لذلك فإنه يبدو أن نظام المستقبل المركزى يكون مفضلاً لمولد الطاقة بالقدر الكبير للاستخدامات الكهربية. على الجانب الأخر، تصميم المجمع المنتشر يمكن أن يكون مناسبا إلى حد كبير لمحطات الطاقة ذات السعة الكهربية الأصغر، ربما أقل من

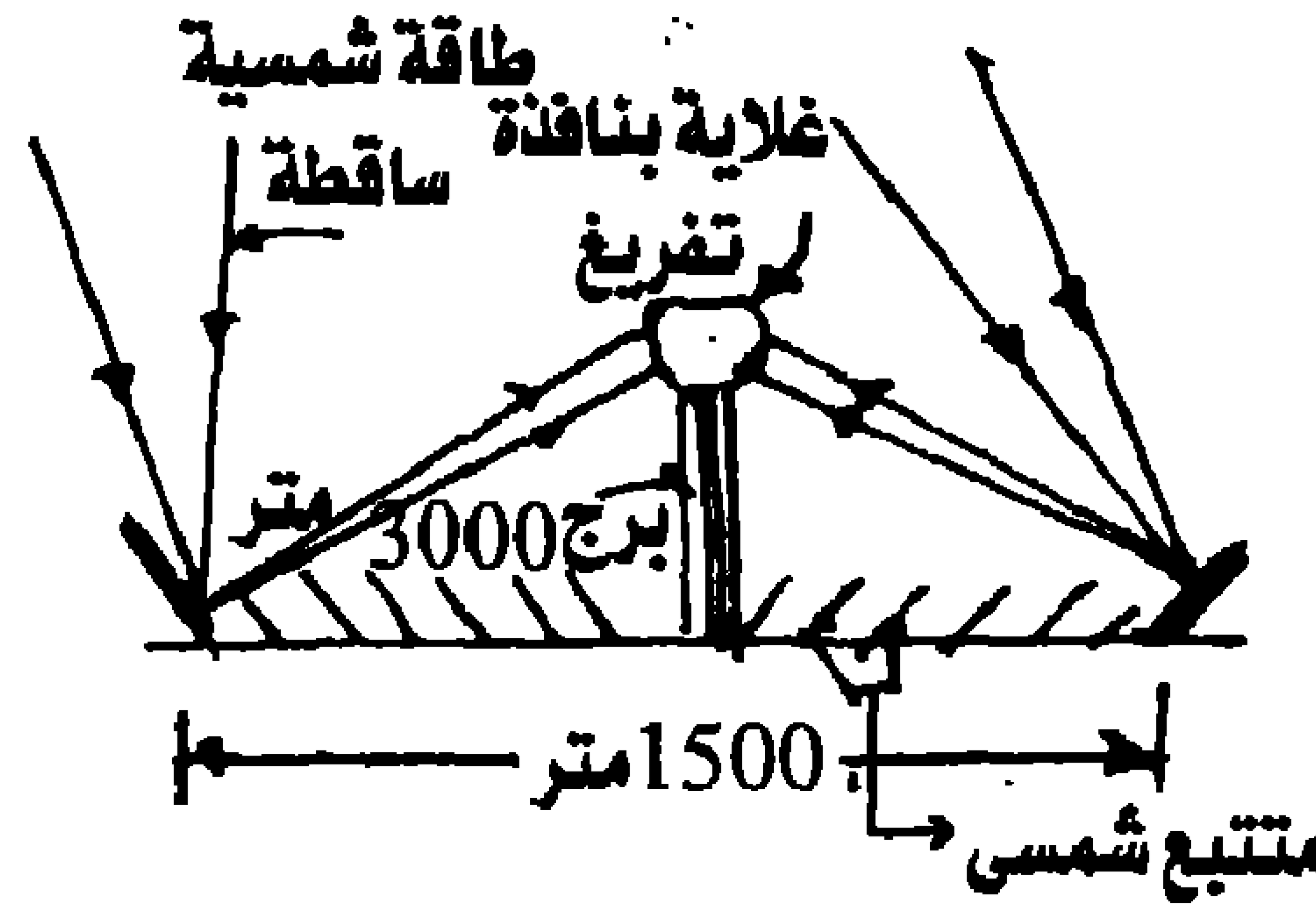
2 ميجاوات. ما يدعى نظم الطاقة الكلية أو (Cogeneration)، يكون بهدف إمداد كلا من الطاقة الكهربية والحرارة أو البخار، للتجمعات الصغيرة، أو الصناعة، والذى يقع فى التصنيف الأخير.

محطات برج الطاقة (نظم الاستقبال المركزى)

Tower power plants (central receivers systems):

(1) المبدأ والعمل :

فى هذا النظام كما ذكر الإشعاع الشمسى القادم يتم تركيزه نحو مستقبل مركزى أو غلاية مركبة على برج طويل باستخدام الآلاف من العواكس المستوية التى يمكن تحريكها وتوجيهها حول محورين وتسمى الهيليوستات. طريق البرج موضحة فى الشكل (7/14) هى مثال للفرن الشمسى.



شكل (7/14) المفهوم البرجى لتوليد الطاقة

كما هو موضح فهو عبارة عن تجميع من مرايا مستوية منفصلة يتم توجيهها بالطريقة بحيث أن كل الضوء الشمسى الساقط يتم انعكاسة نحو نفس النقطة، ومعامل التركيز الناتج يكون تقريباً مساويا لعدد المرايا.

مخطط لمنظر محطة طاقة كهربية باستخدام تلك الفكرة موضح فى الشكل (8/14). المرايا تنشأ على الأرض ويتم توجيهها حيث تعكس الإشعاع الشمسى المباشر نحو الماص أو المستقبل (الغلاية) الذى يكون مركباً على قمة البرج وقريبا من مركز حقل المرايا لإنتاج درجة حرارة عالية. هذا العامل يمكن من وضع الغلاية فى مجال رؤية كل المرايا عند كل الساعات من اليوم. الحزم الإشعاعية الساقطة على الغلاية تمتص بواسطة المواسير السوداء حيث فيها يدور مائع التشغيل ويتم تسخينه. مائع التشغيل الساخن يسمح له بتشغيل تربين وإنتاج طاقة ميكانيكية. التربين المتصل مع محول ينتج طاقة كهربية كما هو الحال فى أى تحول حرارى ديناميكى، يتم توفير

الصرف للحرارة. كذلك يتم توفير الحفظ الحرارى لإمداد الطاقة الحرارية خلال فترات الغيوم وكثافة السحب.

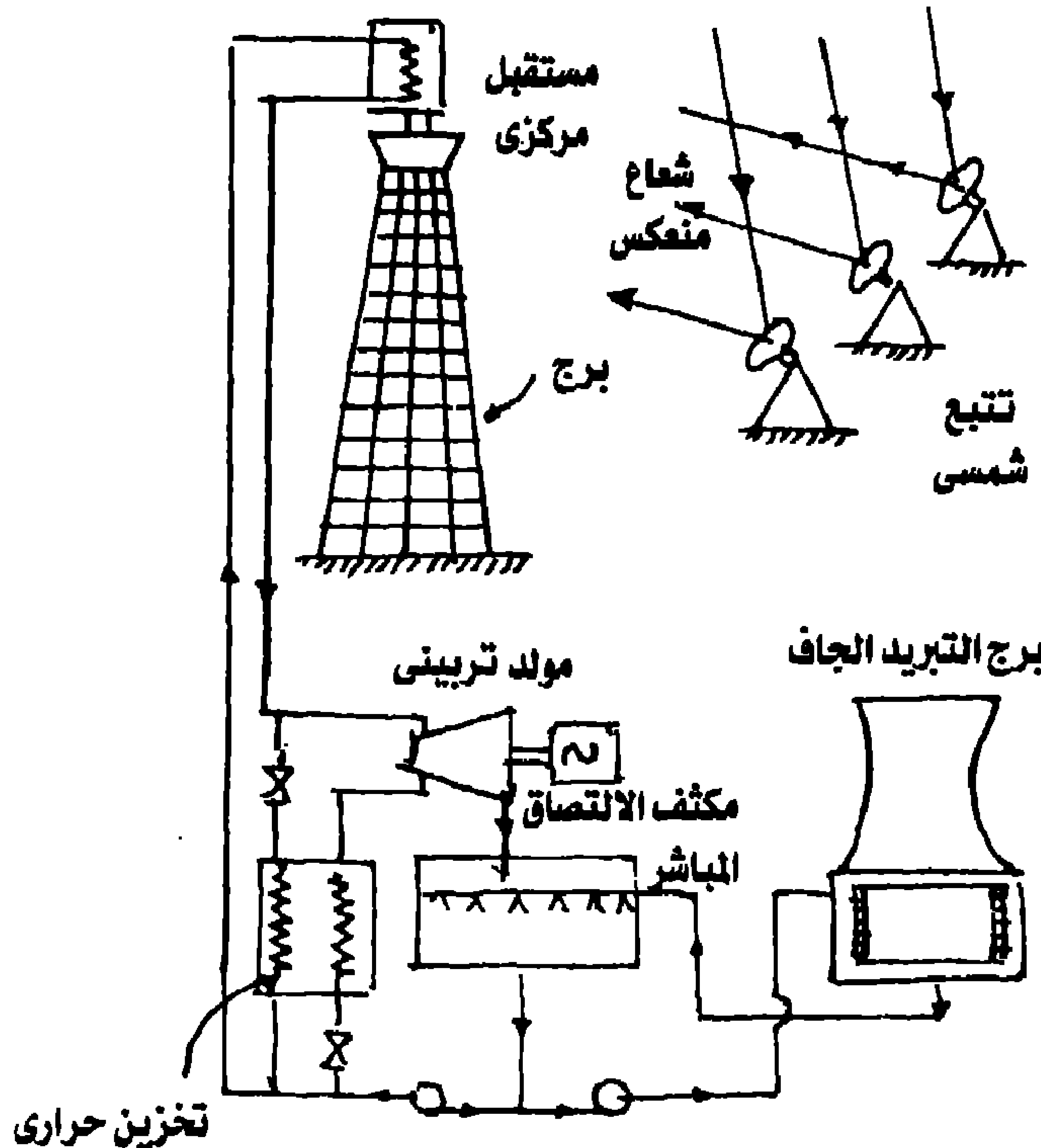
خواص النظام يتم تلخيصها كالآتى:

1- كل أجزائها تستخدم تقنيات معروفة.

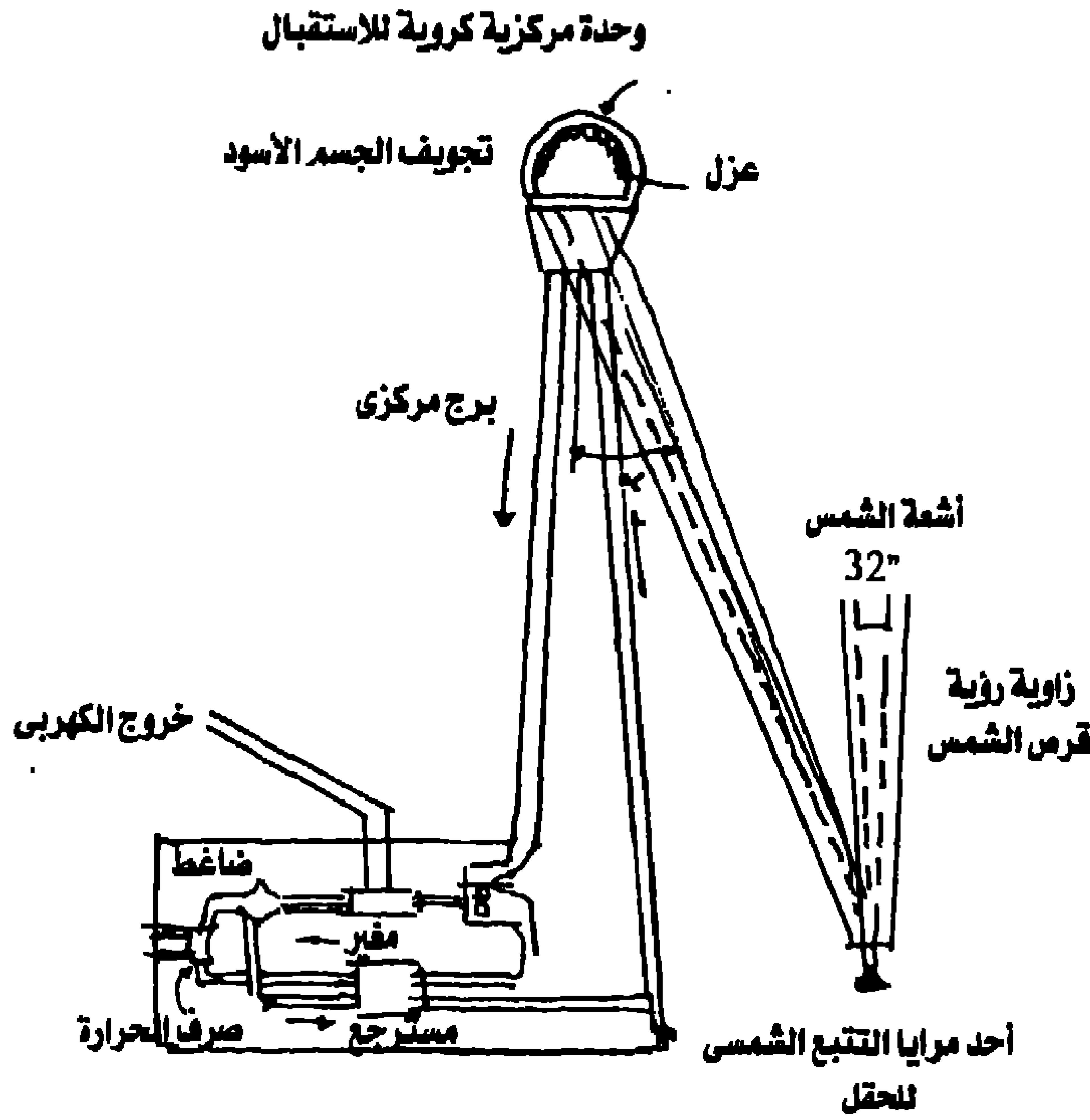
2- نظام التحويل الحرارى يتضمن التربين، والمحول يمكن أن يكون من النوع التقليدى بذا يتم تجنب الحاجة إلى أعمال تطوير مستقبلة.

3- الغلاية أو الماص هو ماص خفيف، وحدة ذات حجم منخفض ينتج عنه الفقد القليل للحرارة منها.

4- الحرارة المطلوب نقلها خلال مسافة طويلة مقارنة بأحواض القطع المكافئ، بما يتجنب زيادة السباكة والفقد الحرارى، كل الطاقة يتم نقلها إلى نقطة مركزية بواسطة انتقال ضوئى. الشكل (9/14) يوضح مخطط لمحطة الطاقة الحرارية الشمسية بالمستقبل المركزى باستخدام حقل من المرايا المستوية وتربين الغاز.



شكل (8/14) محطة طاقة بنظام المستقبل الحرارى المركزى الشمسى



شكل (14/9) مخطط لبرج المستقبل المركزى مع حقل من المرايا المستوية والتربين الغازى

النظام يجب أن يحتوى التخزين لوقت الليل وفترات كثافة السحب، كما هو موضح فى الشكل (8/14). خرج المستقبل يكون أكبر من ذلك المطلوب بدورة البخار، والفائض من الإنتاج خلال فترات أقصى سطوع شمسى يتم تمريره جانبياً إلى نظام التخزين الحرارى. خلال فترات انخفاض سطوع الشمس أو غيبه الشمس، فإن مياه التغذية يتم تحويلها إلى نظام التخزين، بدلاً من المستقبل حيث تتبخر للاستخدام فى التربين. استخدام الجيد للمحابس فى النظام يسمح بالعمل فى أى من الأسلوبين.

نظراً لأن محطات إنتاج الكهرباء الحرارية الشمسية غالباً ما تكون موجودة فى المناطق الحارة الجافة حيث تكون الأرض متاحة (لحقول الهيليوستات الضخمة) وحيث الطاقة الشمسية متاحة، ولكن حيث مياه التبريد يكون نادراً، ماء المكثف يكون من المحتمل غالباً تبريده بواسطة برج التبريد الجاف. مثل هذه الأبراج تكون أقل كفاءة وتسبب خفض فى كفاءة دورة رانكن ولكن لا تتطلب عملياً مياه تعويض.

تكاليف التوليد لوحدة الطاقة الكهربية تقل بزيادة إمكانيات المحطة، ولكن مع زيادة الحجم يوجد خفض فى متوسط تأثير الهيليوستات بسبب زيادة المساحة من المستقبل

المركزى. حيث يمكن تقدير أن أفضل طاقة كهربية حالية لمحطة الكهرباء الحرارية الشمسية ذات المستقبل الشمسى، من وجهة النظر الاقتصادية، يمكن أن تكون فى المجال من 50 إلى 300 ميجاوات. ارتفاع البرج يمكن أن يصل إلى حوالى 300 متر (1000قدم) وإجمالى المساحة الأرضية تقدر تقريباً 325 هكتار (800 فدان) لذلك فإن هذا النظام يمكن تقسيمة إلى الأقسام الفرعية وهى:

أ- حقل المرايا الموجهة (الهيليوستات – المتتبعة الشمسية).

ب- البرج بالمستقبل المركزى عند قمته أى مستقبل بنظام فرعى.

جـ- نظام فرعى للانتقال الحرارى.

د- نظام فرعى للتحول الحرارى.

أ- الهيليوستات (المتتبعة الشمسية):

المتتبعة الشمسية عبارة عن مرايا انعكاس التى يمكن تدويرها بحيث أنه يمكنها انعكاس أشعة الشمس على المستقبل المركزى فى كل الأوقات غالباً وخلال ساعات ضوء النهار. وهى تحافظ على استقرار الشمس بالنسبة للمستقبل. وهذه تعمل لتتبع الشمس، وليس لكونها عمودية على أشعتها (كما فى النظم المنتشرة) ولكن بكونها عند زاوية لهذه الأشعة التى تعكسها إلى المستقبل المستقر (الثابت). هذه الزاوية تعتمد على كلا من وقت النهار ووضع كل متتبعة للشمس بالنسبة للمستقبل.

المتتبع الشمسى (Heliostat) يتكون من السطح العاكس أو المرآة، منشأ حاملى المرآة، وأساس، قاعدة، آلية تجهيز التحكم. التصميمات العادية لها مساحات انعكاس كلية ما بين 40 ، 70متر مربع. المثالى، أن السطح يجب أن يكون ذو مقطع مكافئ إلى حد ما (Slightly parabolic)، مع البعد البؤرى يساوى المسافة من السطح إلى المستقبل ولكن، نظراً لأن تلك المسافة طويلة، فإن الأسطح المستوية أو الكروية توفر أداء جيد. يوجد نوعين من أسطح الانعكاس وهما الزجاج والبلاستك. المتتبعة الشمسية (الهيليسوستات) المستخدمة للزجاج تم تطويرها مقارنة بالبلاستك أساساً بسبب انعكاسها وقوتها. الهيليوستات البلاستك رغم انخفاض قدرة انعكاسها وقوتها مقارنة بالزجاج، إلا أن تكلفتها أقل لكل من منشأ الحمل وآلية التشغيل وخفة الوزن.

بالنسبة لمشكلة التخزين الناتجة عن السطوع المتقطع للشمس، فإنه يمكن مصاحبة غلاية تعمل بالوقود العادى مع محطة برج الطاقة. الغلاية التى تعمل بالوقود سوف توفر الطاقة عند زيادة الطلب عن طاقة وحدة التخزين، كما فى حالات الليل والمناخ الحاجب لأشعة الشمس. وهى كذلك يمكنها تعويض التغيرات الموسمية فى سطوع الشمس. نظام (Hybrid) أى النظام المختلط لهذا النوع يمكن إقامته اقتصادياً بإضافة

الغلاية ببساطة إلى دائرة العمل. لذلك فإنه يمكن توفير الحرارة إلى وحدة توليد الطاقة أما من الغلاية التى تعمل بالوقود أو من الماص الشمسى (Solar absorber).

المواد للمرايا: (Materials for mirrors)

يمكن تصنيع مرآة السطح المستوى بالطلاء المعدنى بالرش (metallization) للزجاج المستوى أو ألواح البلاستك المرنة. بالنظر إلى العمر الافتراضى للمحطة (حوالى 30 عام)، فإن البلاستك يكون أقل اعتمادية نظراً لأن خواصه البصرية والميكانيكية معرضة للتغير مع الوقت. الزجاج المستوى، بالطلاء المعدنى بالرش بالفضة أو الألومنيوم يوفر قدرة انعكاس تتراوح من 82% إلى 93% على التوالى، معرض للنظافة.

المرآة يجب أن تكون قابلة للتوجيه (Steerable)، بدون منشأ تحميل مثلاً إطار من كمر الصلب أو قلب عش عسل النحل، المرايا الزجاجية لا تكون قادرة على تحمل أحمال الريح التى تحدث عادة فى الأراضى الجافة. زيادة مساحة المرآة، تزيد من قوة وثبات المنشأ الحامل. نتيجة لذلك المتتبعة الشمسية تكون ثقيلة، حيث مرآة بمسطح 50 متر مربع تزن حوالى 2 طن.

التتبع للمرايا : (Tracking of mirrors)

فى تجهيز المرآة فى معظم الحالات يتم تحميل المرايا فى المركز على أعمدة جاسئة (Rigid). تجهيزه التحميل تكون عادة Gimballed (أى على محورين لإبقاء المرآة المحمولة فى وضع أفقى) بحيث أنها تسمح بتوجيه محورين للتتبع الشمسى (2 Axis heliostat orientation)، مع اثنين من المشغل المحفاز (Actuators) لكل تحرك أو دمج فيها. بسبب حمل الريح، فإن كلا من الحامل والتحميل والمحفاز يجب أن يكون تجهيزهم قوى. توجد طريقتين لإحكام المحفزات. الأولى تستخدم حاسب مركزى يتبع برنامج ثابت نظراً لأن حركة الشمس يمكن استنتاجها بدقة. تلك الطريقة توفر ميزة أن المرآة تكون آلياً فى الوضع الصحيح بعد فترة غياب الشمس. هذا لا يحدث فى الطريقة الثانية، التى فيها الإشارة الرئيسية تعطى بواسطة حساس بصرى مدمج فى المرآة. بالتالى، يكون المطلوب توجيه إضافى لوضع المرآة ثانياً على المسار لاستمرار التتبع تحت غطاء السحب. كلا بدائل التصميم يتم بحثهم.

ب- النظام الفرعى للمستقبل (Receivers subsystem)

المستقبل المركزى عند قمة البرج له سطح امتصاص حرارة (مثل الألواح المغطاة بمادة امتصاص الحرارة) التى بها يتم تسخين مائع الانتقال، تم اقتراح شكلين أساسيين

للمستقبل، وهما أنواع التجويف أو التكهف (Caving) المستقبل الخــارجى (External receiver) فى نوع التكهف أو التجويف تبطن المواسير داخــل التجويــف، الإشــعاع الشمسى الساقط، الإشعاع الشمسى الذى ينعكس بواسطة المتتبعة الشمسية (Heliostat) يدخل خلال فتحة عند القاع للتجويف. على الجانب الآخر فى نوع المستقبل الخــارجى تكون أسطح الامتصاص على خارج منشأ أسطوانى تقريباً. يتم تنظيم إطــار أنبــوبى خلال الفجوة وتكون محدبة نحو حقل المتتبعة الشمسية (هيليوستات) بينمــا المــستقبل الخارجى له إطارات أنبوب التبريد مبطنة لخارج المستقبل.

وتكون محدبة قليلاً نحو حقل المتتبعة الشمسية للمحطات الكبيرة والأطر (اللوحات Panels) تكون مستوية للمحطات الصغيرة.

الفقد الحرارى بالإشعاع وبالحمل الحرارى (Convection) يكــون عمومــا أقــل بالنسبة للفجوة عنه لشكل المستقبل الخارجى، ولكن التركيز البؤرى (Focusing) يمكن أن يكون أكثر حرجا بسبب، أنه ليتم الامتصاص فإنها يجب أن تــدخل خــلال فتحــة التجويف. كذلك، المستقبل الخارجى له ميــزة البــساطة، بنــاء النمــاذج الإطاريــة (Modular Panel) سهولة الاقتراب للصيانة، ومساحة امتصاص كبيــرة. المــستقبل الكبير له قوة انسكاب (Spillage) قليلة. هذه هى الطاقة المنعكسة بواســطة المتتبعــة الشمسية ولكنها لا تتقاطع مع مستقبل مائع الانتقال الحرارى. أشعة العاكس قــد تفقــد المستقبل كلية أو أن تسقط خارج الفتحة (فى مــستقبل الفجــوة أو الكهفــى Cavity). الانسكاب يمكن أن يكون بسبب أخطاء التتبع للمتتبعة الشمسية وذلك بسبب أخطاء نظام التحكم، تأثيرات الريح، التفويت فى التوجيه (Steering Back lash).. الخ. الانسكاب عادة أقل من 5% فى النظام ذو التصميم الجيد. المستقبل الضخم يقاسى من الفقد الكبير بالحمل الحرارى والإشعاع. مستقبل التجويف له فقد انعكاس أقل من المستقبل الخارجى وكذلك أقل حمل حرارى لأن أسطح الانتقال الحرارى تكون محمية (الفجوة تقترب من الجسم الأسود). الإشعاع الداخل خلال الفتحة يتكرر انعكاسه خلال الفجوة مع قليل جداً نحو وجود طريقة إلى الخارج (Backout). لذلك فإن الإشعاع يتم احتجازه فى الداخل، والنتيجة فى أن قوة الامتصاص تساوى تقريباً الواحد. ولكن مستقبل الفجة له أكبر فقد بالتوصيل بسبب كبر حجمه وتعقيده. مستقبلات الفجوة تكون لذلك أكثر كفاءة مقارنــة بالمستقبلات الخارجية، ولكنها أكبر كثيراً وأثقل وأكثر تكلفة عن المستقبلات الخارجية.

جـــ- النظم الفرعية لانتقال الحرارى : (Heat transport subsystem)

يوجد نوعين أساسيين من طرق التحويل الحرارى الديناميكى (Thermodynamic) وهما دورات (Brayton & Rankine)، وهما مستخدمان للنظم الفرعية التــى تحــول

الحرارة إلى طاقة كهربية. الماء هو مائع الانتقال الحرارى المناسب، ويكون فى شكل بخار وهو المائع العامل فى معظم التربينات الموجودة لتوليد الكهرباء. لذلك الماء سوف يستخدم، على الأقل فى المحطات الكهربية الحرارية الشمسية المبكرة. الماء السائل (أى مكثف التربين) تحت الضغط يدخل المستقبل، يمتص طاقة حرارية، ويترك فى شكل بخار محمص عالى التسخين (Super Heated steam) حالات البخار المثالية يمكن أن تكون عند درجة حرارة 500^{o}م وعند ضغط حوالى 100 جوى. يتم ضخ البخار فى مواسير نحو منسوب الأرض حيث يقوم بتدوير نظام المولد التربينى التقليدى. كما هو الحال فى كل محطات الطاقة الكهربية بالبخار، يتم التخلص من الحرارة فى مكثف التبريد بالمياه.

فى النظم المتقدمة للمستقبل المركزى، قد يكون مائع الانتقال الحرارى الصوديوم السائل أو الخليط المنصهر من الأملاح عند تقريباً الضغط الجوى. عند قاع البرج يتم تدوير السائل ذو درجة الحرارة المرتفعة خلال المبادل الحرارى، حيث الحرارة سوف تنقل إلى الماء لتوليد البخار عند ضغط عالى ودرجة حرارة عالية. لذلك، يمكن تحقيق كفاءة عالية للتحول إلى الكهرباء بدون الحاجة إلى ضغط مرتفع فى المستقبل. إمكانية أخرى وهى باستخدام الغاز كوسط الانتقال الحرارى وكذلك كمائع تشغيل فى تربين الغاز. فى دورة (Brayton) أو دورة تربين الغاز، يتم ضغط الغاز وتسخينه ثم تمدده خلال التربين، الذى يكون متصلاً بالمولد. الغازات المستهلكة قد تستخدم للتسخين المسبق للغاز المضغوط فى المولد أو المسترجع Recuperaton (وهو منظومة تسمح بالاستفادة من حرارة غازات الفرن المنصرفة). يمكن استخدام الهواء، الهيليوم، الأرجون وغازات أخرى.

زيوت الانتقال الحرارى لنظم المستقبل المركزى الشمسى كوسط انتقال حرارى هى (Carolina HT-43, therminol-66) التى لها مجال عمل من -7^{o}م إلى 315^{o}م. كذلك تستخدم الزيوت كذلك لنقل حرارة المستقبل إلى مولد البخار عند جانب المحطة. الزيوت لها ميزة انخفاض التآكل كما يمكن اختيارها لضغوط البخار المنخفضة. وهى رغم ذلك، قابلة للاشتعال، ويمكن أن تسبب مشاكل التدفق عند درجات الحرارة المنخفضة وعادة تقاسى من التلف الحرارى أى أنها تتحلل تحت حالات درجة الحرارة العالية والذى يسمى التحلل الحرارى (Pyrolitic Decomposition).

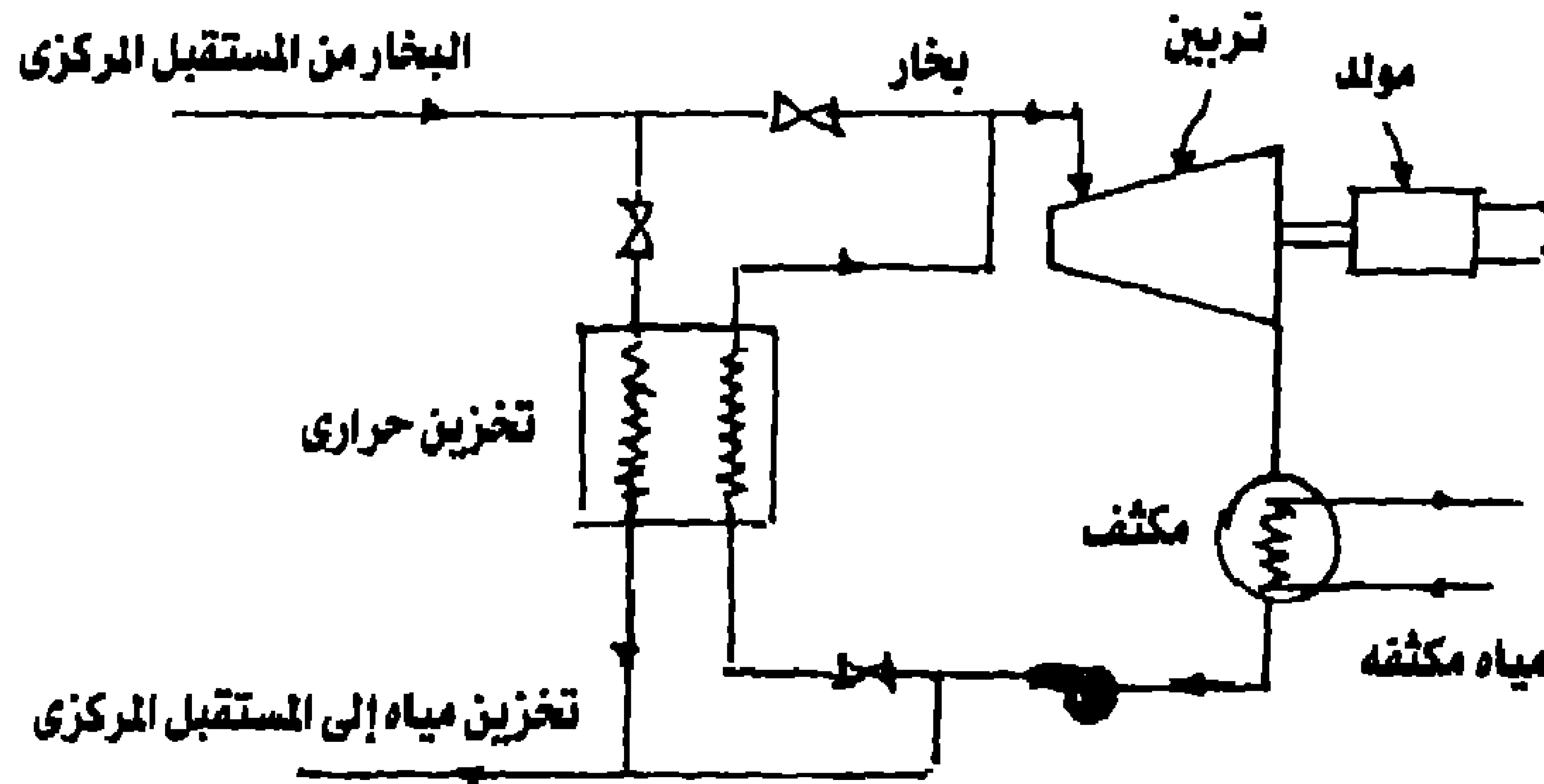
التخلص من الحرارة خلال التحول الحرارى الحركى (Thermodynamic conversion) يمثل مشكلة فى توليد الطاقة الشمسية. يقدر أن

متطلبات مياه التبريد لمحطة 100 ميجاوات تقدر بحوالى 30000 متر مكعب فى الساعة إلا إذا استخدمت أبراج التبريد. من المحتمل أن محطات الطاقة الشمسية المستخدمة لمركزات ضوء الشمس المباشر سوف تقام غالباً فى الصحراء أو الأراضى الشبه جافة، حيث الحاجة إلى كمية كبيرة من ماء التبريد سوف تحد من اختيار المواقع.

د- النظم الفرعية للتخزين الحرارى : (Thermal storage subsystem)

الغرض من النظم الفرعية للتخزين الحرارى هو لتخزين الطاقة الحرارية الشمسية الممتصة فى المستقبل للاستخدام فى وقت لاحق. كما هو الحال فى كل نظم الطاقة يجب الانتباه نحو مشكلة تخزين الطاقة. يبدو أنه من الضرورى توفير تخزين حرارى، على الأقل لفترات صغيرة، وذلك لتجنب الفقد فى الوقت والذى يمكن أن يحدث بعد حالات التوقف، بسبب نقص سطوع الشمس حيث وصلت المحطة إلى درجة حرارة عملها ثانياً. التخزين لفترة صغيرة للحرارة يمكن توفيره بواسطة الطوب الحرارى، أكاسيد السيراميك (Mg 500)، الأملاح المنصهرة ($NaNO_3$) عند 260^oم: الكبريت (السائل ما بين 113^oم و 444^oم) أو المعادن مثل الزئبق (السائل ما بين 390^oم، 357^oم) الليثيوم (السائل ما بين 180^oم و 1400^oم)، الصوديوم (السائل بين 98^oم و 880^oم). بعض المواد العضوية تكون مناسبة كذلك حتى 300^oم. العمل العادى يتم تركيزه على التخزين بالصخر، الأملاح ذات درجة حرارة الانصهار المنخفضة (Eutectic)، وبعض المواد العضوية المصنعة ذات ضغط بخار منخفض مثل (Gilotherm). اختيار مادة التخزين التقليدية يتحدد بواسطة كثافة طاقتها (It's Energy Density)، التوصيل الحرارى، وخواص التآكل، التكلفة وملاءمة الاستخدام وكذلك بحرارة التشغيل لمائع العمل. فضاء التخزين يجب أن يكون تام العزل ضد الفقد الحرارى.

المثال البسيط لتكامل التخزين الحرارى مع محطة الطاقة الحرارية مع مائع العمل من البخار –الماء موضح فى الشكل (10/14) البخار ذو درجة الحرارة العالية الزائد عن الحاجة الحالية يتم تحويله إلى المبادل الحرارى خلال وسط التخزين المحتوى فى خزان جيد العزل. يتم انتقال الحرارة إلى التخزين ومائع التبريد يتم عودته إلى المستقبل المركزى. عند الحاجة إلى الحرارة، تستخدم الحرارة المخزنة لتوليد البخار للتربين.



شكل (10/14) توليد الطاقة الكهربية باستخدام التخزين الحرارى

يوجد نوعين من التخزين الحرارى المستخدمة أساسا مع النظم الشمسية. وهما:

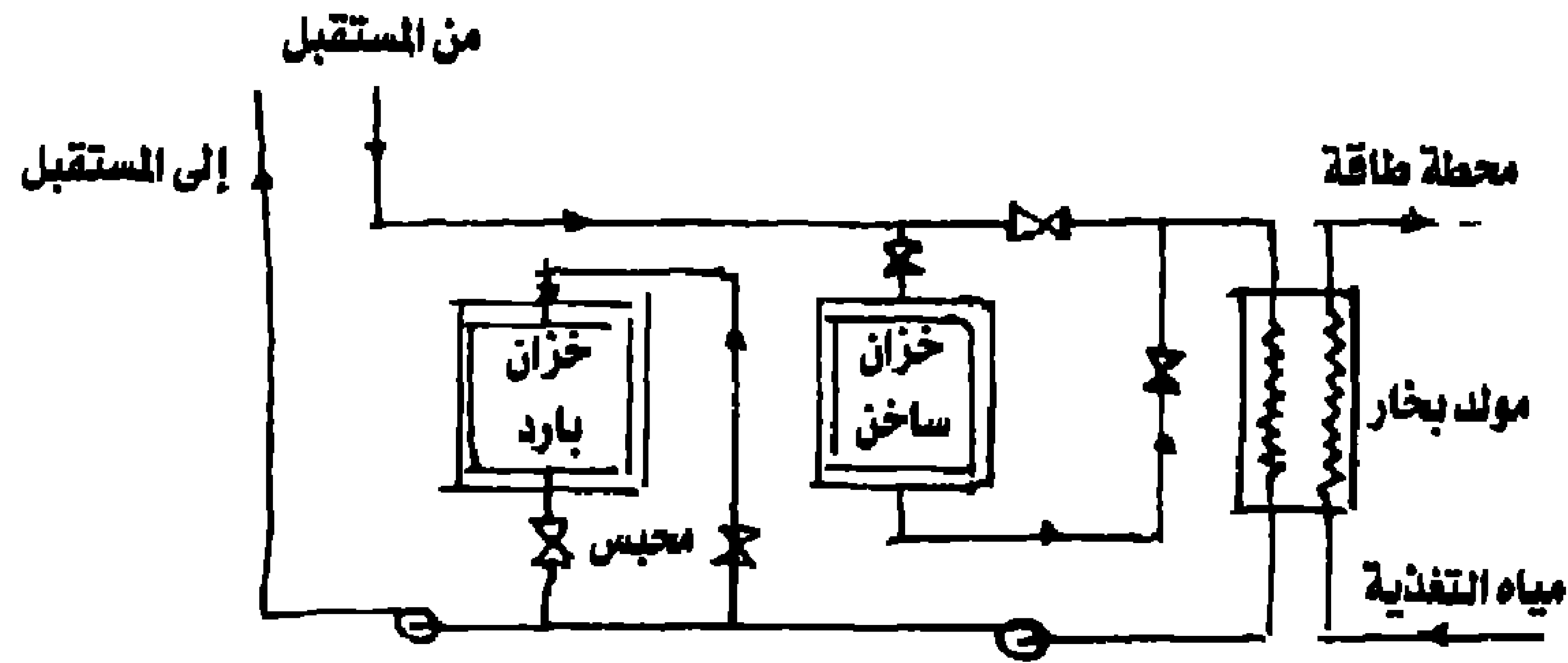
1- الخزان الفردى أو المنحدر الحرارى (Thermocline) أو

2- الخزان المزدوج أو النظم الساخنة – الباردة.

الخزان الفردى أو نظام المنحدر الحرارى موضع تخطيطيا فى الشكل (8/14). يحدث التخزين بتدوير بعض المبرد الأولى الساخن خلال وسط التخزين وعودة المبرد الأولى البارد من القاع لحوض التخزين إلى المستقبل لإعادة التسخين. استخلاص الحرارة فى أوقات الحاجة تتم بعكس العملية: المبرد الأولى البارد من محطة البرج يتم تسخينة بواسطة وسط التخزين، ويسحب من أعلا الخزان إلى نظام الطاقة، ثم عندئذ العودة إلى قاع الخزان. التدرج الحرارى للسخونة عند القمة، البرودة عند القاع تحافظ على استمرار تكون الطبقات (Stratification)، بما يسمح للمائع الساخن ليظل طافيا عند القمة ويعطى الخزان ثبات حرارى. بالإضافة، الوسط التخزينى الصلب ذو التوصيل الحرارى المنخفض وطاقة حرارة حجميه عالية مثل الصخر، يستخدم للمساعدة فى إعاقة خلط المواقع الساخنة والباردة. وسط التخزين الصلب يكون ضروريا فى حالة كون المبرد الأولى هو الغاز (مثل الهواء أو الهيليوم) بسبب انخفاض السعة الحرارية للغازات. المادة الصلبة المسامية تمثل وسط تخزين جيد للغازات.

البديل لنظام المنحدر الحرارى هو ذلك الذى فيه مائع التخزين المنفصل، بخلاف المبرد الأولى، يمكن استخدامه. هذا سوف يكون سائل ذو توصيل حرارى منخفض وطاقة حجميه حرارية، عادة الزيت. يمكن استخدامه منفردا كوسط مستقل أو أن يصاحبه وسط تخزين صلب، مثل الصخر فى النظم المشتركة كما سبق، لخفض حجم تخزين السائل المكلف وإعاقة خلطة. يتم إضافة الحرارة إلى واستخلاصها من المبرد الأولى خلال المبادلات الحرارية المتوسطة.

أما الخزان المزدوج أو نظام الساخن – البارد يستخدم خزانين. المائع يكون سائل ليس مثل نظام الانحدار الحرارى الطبقى، عند درجة حرارة ما، سخونة فى خزان، برودة فى الآخر. كمية الطاقة الحرارية المحسوسة المخزنة تتغير بتغير الموائع فى الخزانات المعزولة جيداً الشكل (11/14). لذلك فإنه خلال التخزين يتم سحب السائل من الخزان البارد، تسخينه، وإضافته إلى الخزان الساخن. خلال الاستخلاص تنعكس العملية. تقنية الخزان المزدوج هذه تم اقتباسها من عمليات التكرير. وهى مناسبة فقط لمبردات السائل مثل الصوديوم، الأملاح المنصهرة، أو الزيت. الخزانات الساخنة المستخدمة بالصوديوم والملح المنصهر يلزم صناعتها من مادة سبيكة عالية من الصلب المقاوم الأوستينيت. كثافات تخزين الطاقة الحرارية تتغير كثيراً بين مختلف الوسط التخزينى. بعض القيم التقليدية لمجال درجة حرارة من 290°م إلى 565°م موضح فى الجدول التالى:



شكل (11/14) مخطط للخزان المزدوج أو الساخن – البارد لنظام التخزين الحرارى

جدول (1/14) كثافات التخزين الحرارى العادية:

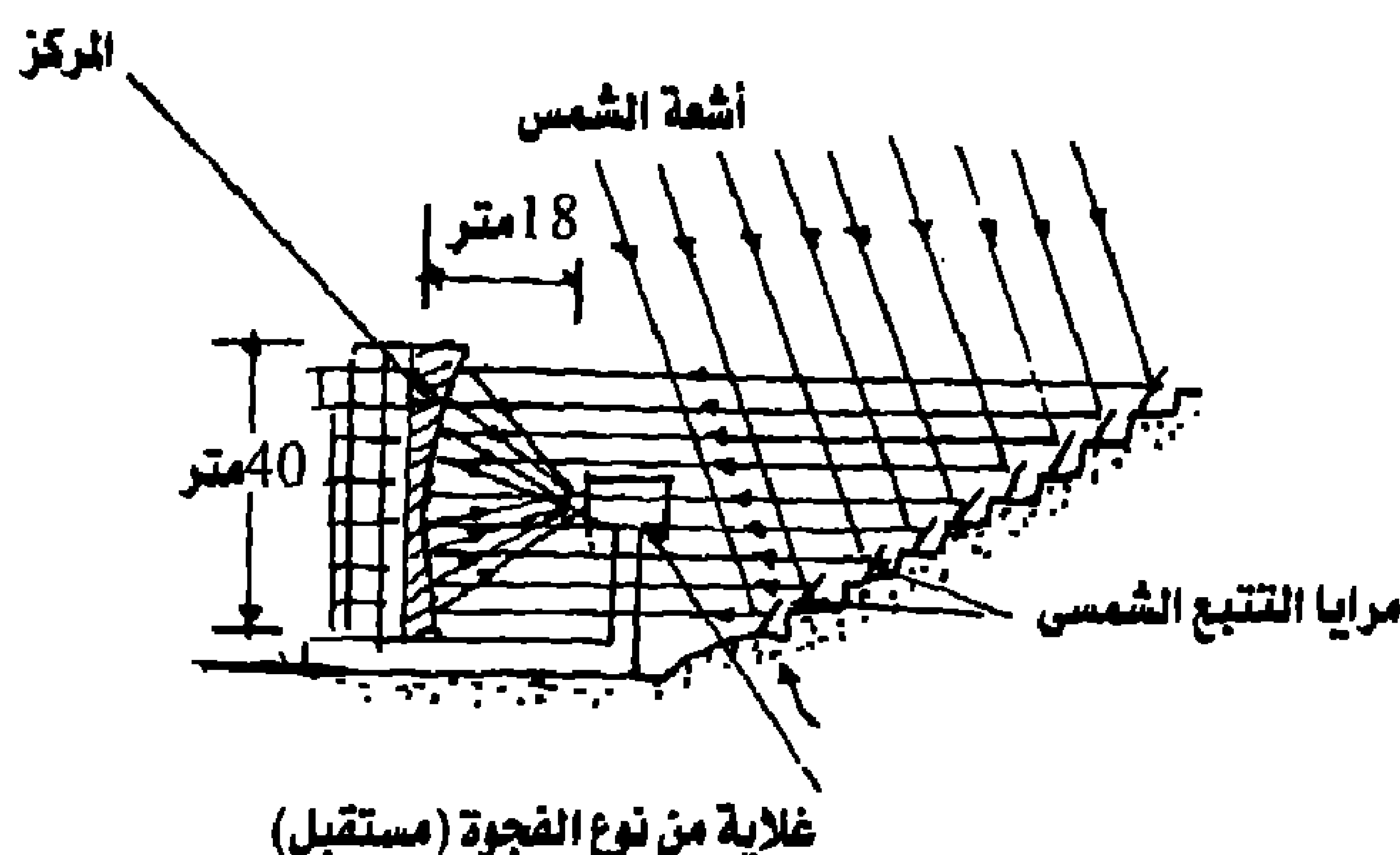
الوسط	كثافة التخزين الحرارى ميجاوات ساعة/م3 (MWh/m3)
الصوديوم	0.08
الصخر، نسبة الفراغات 25%	0.15
الملح المنصهر (نترات)	0.22

خلال النظام الكلى، يمكن إحضار مائع التشغيل إلى التصاق حرارى مع وسط التخزين الصلب أو السائل بعد تركه للماص/ المستقبل وقبل دخوله إلى التربين. وسط التخزين السائل يكون مفضلاً لأن الانتقال الحرارى يفضل بالحمل الحرارى (Convection). فى قليل من مشاكل التخزين الناتجة من عدم استمرارية سطوع

الشمس، يجب أن يصاحب برج محطة الطاقة الشمسية غلاية تعمل بـالوقود. الغلايـة التى تعمل بالوقود توفر الطاقة عند زيادة الطلب عن طاقة وحدة التخزين مثل خـلال الليل أو حالات الغيوم. وكذلك يمكنها تعويض التغيرات الموسمية لـسطوع الـشمس. نظام مختلط (Hybrid) من هذا النوع يمكن إقامته اقتصادياً بإضافة الغلاية ببساطة إلى دائرة العمل. لذلك يمكن توفير الحرارة لوحدة توليد الطاقة إما من غلاية الوقود أو من المجمع الشمسى.

نظام محطة طاقة آخر مشابه يـستخدم مـصفوفات مـن المتتابعـات الشمـسية (الهيليوستات) بالمرايا الموجهة (المرايا التى يمكن تحويلها) لتركيز ضوء الشمس إلى غلاية من نوع الفجوة (Cavity type) قريباً من الأرض لإنتاج البخار لمحطـة طاقـة التربين الكهربية. ضوء الشمس الساقط علـى الأوجـه المرآويـة (Mirrored faces) لنماذج المتتبعة الشمسية يتم انعكاسه وتركيزه فى فجوة المبادل الحرارى. طبقـاً لهـذا المبدأ، فإن الفرن الشمسى فى فرنسا يعمل بواسطة الطاقة الشمسية. الـشكل (12/14) يعطى فكرة للفرن الشمسى.

هذا الفرن الشمسى تم تصميمه عام 1973 يهدف استخدام الفـرن الشمـسى فـى الصناعة التى تتطلب درجة حرارة مرتفعة.



شكل (12/14) مبدأ الفرن الشمسى

فى هذا الفرن الإشعاع الشمسى يتم إرساله إلى المركز باستخدام 63 متتبعة شمسية (هيليوستات) التى تنظم على ميل الجبل. المتتبعة الشمسية 6 × 7.5متر تتكون مـن 80 مرآة ذات الظهر الفضى (Back silvered) أبعادها 50سم × 50سـم. اتجـاه المتتبعـة الشمسية (الهيليوستات) يتم تغييره بواسطة النظام الهيدروليكى المتصل مع نظـام تتبـع منظومة التحكم المؤازرة (Servo-system) باستخدام الأنبوب البصرى. يتكون مركز

القطع المكافئ 40 × 45متر من 9500 مرآة مستوية ذات التظهير الفضى، 45 × 45سم فى البعد، التى تكون منحنية ميكانيكياً بدفع الوسط من الجانب الخلفى. المساحة المؤثرة للمركز هى حوالى 1900 متر مربع، الذى يوفر مدخل طاقة شمسية مقداره 1800 كيلوات. قوة الإشعاع المركز تقدر لتكون 1000 كيلوات مع الأخذ فى الاعتبار الفقد بالانعكاس. البعد البؤرى هو 18 متر، لذلك فإن نسبة الفتحة المؤثرة تقدر بـ 2.8. درجة الحرارة الممكن الحصول عليها تكون عالية حتى 4000 درجة كيلفن. من تجهيز الفرن الشمسى يمكن الحصول على درجة حرارة عالية حتى حوالى 3800^{o}م بواسطة نظام المجمعات التى تجمع طاقة الإشعاع الشمسى من مساحة كبيرة وتركيزه فى حجم صغير. تتبعات شمسية أخرى يتم تنظيمها فى مصاطب (Terraces) على سطح مائل (كما فى حالة جانب التل) بحيث، بصرف النظر عن وضع الشمس فإنهم دائماً يعكسوا الإشعاع الشمسى فى نفس الاتجاه على جامع عاكس من القطع المكافئ الضخم (أو الكروى) المصنوع من كثير من المرايا المثبتة المتصلة بوجه المنشأ. المجمع أو المركز عندئذ يحضر الإشعاع نحو البؤرة خلال حجم صغير (المستقبل). الفرن الشمسى يمكنه إمداد أقصى تركيز حرارى مقداره 16000 كيلوات/المتر المربع.

تستخدم الأفران الشمسية فى دراسات درجة الحرارة العالية للحراريات (أى درجة حرارة انصهار عالية) من الأكاسيد والمعادن فى البيئة النظيفة. المكونات للنظم الكهربية بالحرارة الشمسية، حيث يتم تركيز الطاقة الشمسية على مواسير الامتصاص المحتوية على مائع ناقل للحرارة، يمكن كذلك اختباره فى الأفران الشمسية.

هـ- فكرة أو مفهوم الحقل (أو نظام المجمع المنتشر)

Farm concept (or distributed collector system)

الحقول الشمسية تم اقتراحها باستخدام مركزات حوض القطع المكافئ، طبق القطع المكافئ أو نوع آخر من المركزات لتركيز ضوء الشمس على ماسورة مركزية محاطة بأغلفة من الكوارتز المفرغ. درجة الحرارة التى يمكن الحصول عليها فى هذا النظام قد تتراوح من 300^{o}م إلى 1600^{o}م. هذا نظام نسقى أو معيارى (Modular) يتكون من مجمع القطع المكافئ فى شكل الطبق لتركيز الإشعاع الشمسى على مستقبل لتسخين مائع التشغيل، مقرن مع مولد الطاقة (المحرك، مولد التيار المتغير) لتوليد الكهرباء. يمكن استخدام هذا كذلك فى إنتاج حرارة للعمليات الصناعية. عندما تكون هذه النظم المعيارية مقرنة (Coupled) معاً فإنها تكون فى وضع لإمداد الطاقة المطلوبة كنظام طاقة غير مركزى.

الأنواع الآتية من المحركات الحرارية المستخدمة عادة مع نظم الحوض، الطبق القطع المكافئ.

1- محرك دورة رانكن.
2- محرك دورة رانكن العضوية.
3- محرك دورة ستيرلنج.
4- محرك دورة هواء – برايتون

فى كل من تلك الدورات، يتم تمدد الغاز أو البخار الساخن خلال محرك أو تربين لإنتاج شغل وبذا يتم تبريده.

يتم بعد ذلك تبريد الغاز أو البخار للتخلص من الحرارة وأخيراً العودة إلى الحالة الأولية للحصول على الطاقة بالإشعاع الشمسى وبذا تكتمل الدورة.

كما سبق ملاحظته سابقا، مجمعات الطاقة الشمسية المنتشرة قد تكون مفضلة لمحطات الطاقة الحرارية ذات طاقة صغيرة نسبياً (حوالى 2 ميجاوات أو أقل). من بين الاستخدامات الهامة لمثل هذه المحطات الصغيرة نوعين تحت الدراسة وهما:

نظام الطاقة الكلى، ضخ المياه لرى الحقول.

الطاقة الكلية (أو نظم التوليد المشترك):

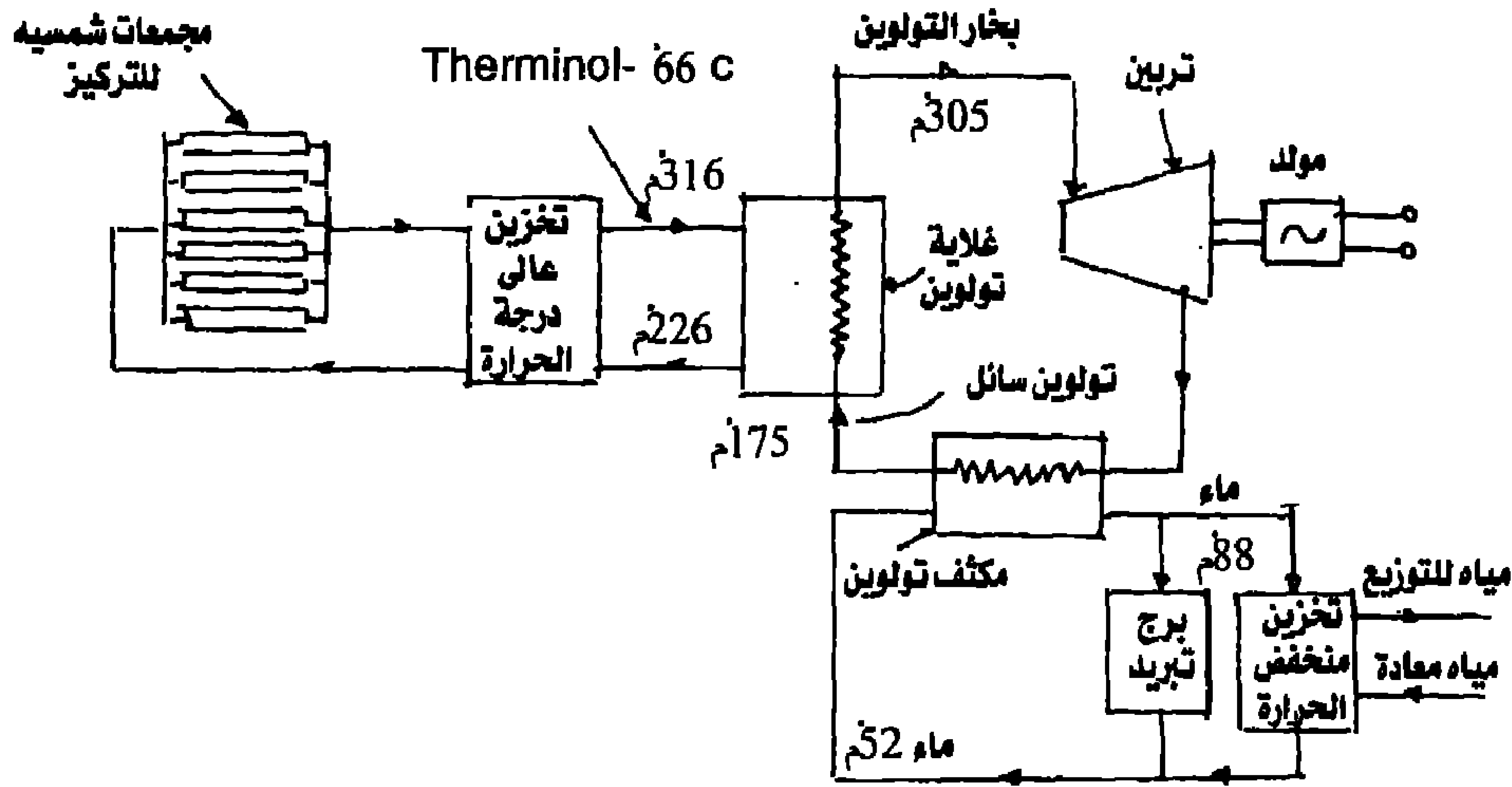
Total Energy (or cogeneration) systems:

مفهوم الطاقة الكلية مبنى على الاستخدام المتتابع (أو الساقط) للطاقة الشمسية على مستويين مختلفين لدرجة الحرارة. أولا، المائع الشغال عند درجة الحرارة العالية يمكن استخدامها لتشغيل التربين وتوليد الكهرباء بالطريقة العادية. ثم الحرارة التى تم صرفها فى مكثف تبريد المياه عند درجة حرارة منخفضة يمكن استخدامها فى تدفئة الفراغ والتبريد. البديل، فى نظام التوليد، يمكن استخدام صرف التربين لتوفير البخار للاستخدام فى الصناعة. لتكون الحرارة المنصرفة مفيدة فإن درجة الحرارة يجب أن تكون أعلا من فى محطة توليد الطاقة الكهربية بالبخار. نتيجة لذلك، تكون كفاءة التوليد الكهرباء أقل، ولكن هذا يمكن أن يكون أكثر من المقابل بالقيمة الاقتصادية للحرارة المنصرفة.

الاستخدام الممكن لنظم الطاقة الكلية (متضمنة التوليد المشترك) هو لإمداد الطاقة الكهربية والتدفئة الفراغية والتبريد للمبانى الضخمة، والمجموعة من الأسر المقيمة، أو لخليط من السكان والمبانى ذات الأحجام المختلفة. يمكن أن تكون طاقة محددة، ولكن، فإن نظم التجميع التى بها توزيع ونشر المجمعات يمكن أن تحقق الوفر الاقتصادى. إذا

كانت طاقة التصميم كبيرة جدا، فإن تكاليف المواسير والأرض للمجمعات تصبح إعاقة ولكن فى حالة الطاقة الصغيرة جداً يمكن تحقيق تكاليف عالية للوحدة من توليد الكهرباء والتخزين الحرارى.

يتم اختبار مختلف مجمعات التركيز البؤرى أو التركيز والمكونات الأخرى لنظم الطاقة الكلية لإمكان تصميم وتشغيل نظم إثبات الكفاءة. فى مخطط مقترح موضح فى الشكل (13/14) يكون مائع الانتقال الحرارى هيدروكاربون ذو درجة حرارة غليان مرتفعة مثل (Therminal 66) للعمل فى مصفوفة التركيز البؤرى المنتشرة، المجمعات الشمسية من نوع الحوض. المائع يتم تسخينه إلى حوالى 316°م بالمرور خلال المجمعات، ثم تمريره خلال حوض تخزين حرارى عند درجة حرارة مرتفعة. المائع الساخن يتم تمريره خلال المبادل الحرارى (أو الغلاية) حيث التولوين (Toluene) وهو مائع تشغيل التربين، يتحول إلى البخار عند حوالى 305°م. بخار التولوين يتم تمدده فى التربين حيث يشغل المولد وينتج الكهرباء.

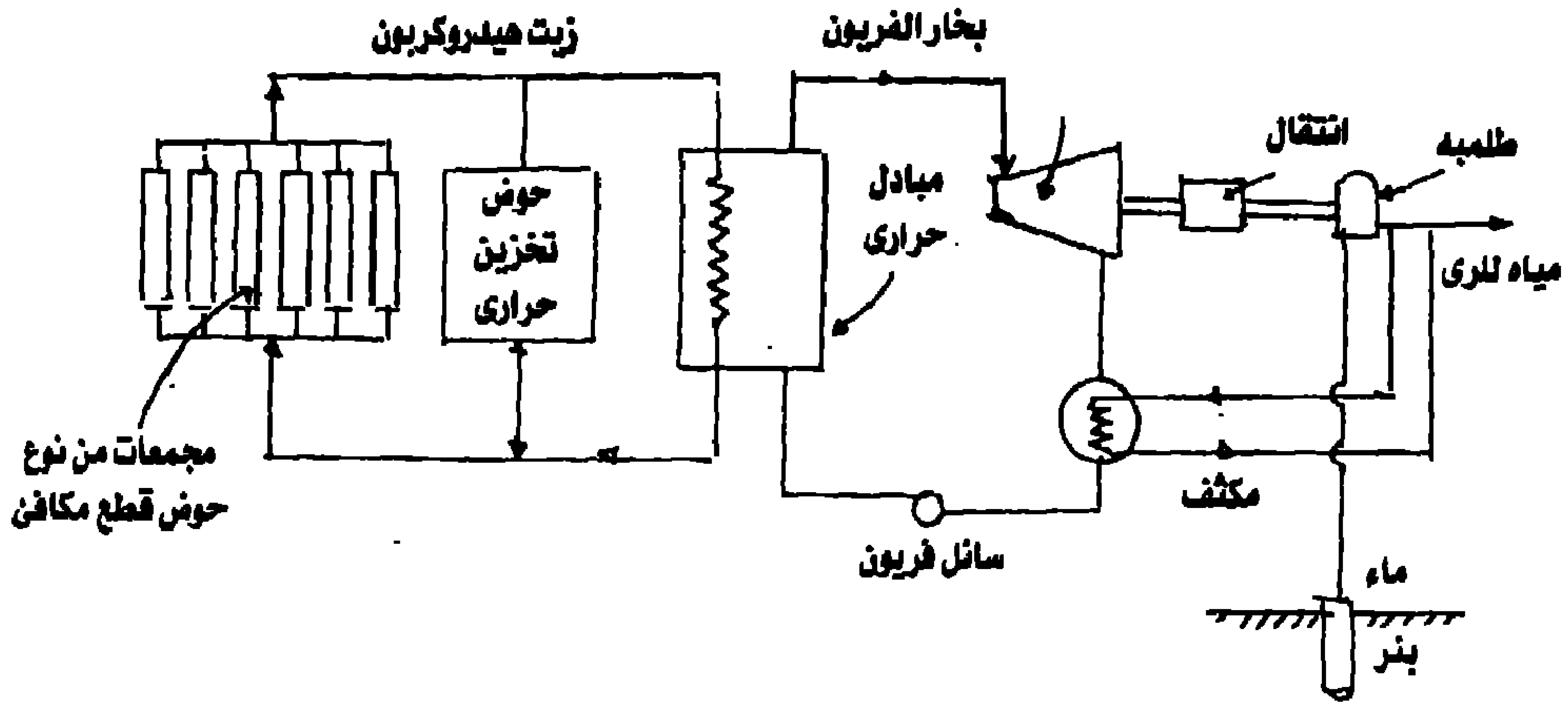


شكل (14/13) نظام اختبار اجمالى الطاقة الشمسية

مياه التبريد تترك مكثف التربين عند حوالى 88°م، مقاربة مع 40°م أو أقل لمحطة الطاقة الكهربية بالبخار. ذلك الماء الساخن يمر إلى حوض التخزين للاستخدام عند الحاجة فى تدفئة الفراغ والإمداد الماء الساخن. درجة حرارة 88°م تكون كذلك مناسبة لتشغيل المكيف الهوائى من نوع الامتصاص شكل (14/13).

ضخ المياه لرى الأراضى :

طلمبات الرى ذات طاقة منخفضة نسبياً يمكن تشغيلها مباشـــرة بواســـطة تـــربين البخار باستخدام الطاقة الشمسية، كما سبق وصفة تحت التطبيقات الحر ارية المباشـــرة. فى حالة الآبار العميقة، يلزم استخدام طلمبات ذات قوة أعـــلا وهـــذه بفـــضل عملهـــا بالمحرك الكهربى فى حالة مشروع الرى من الآبار العميقة (فى ولاية أريزونا) تستخدم الطاقة الشمسية لتسخين زيت الهيدروكاربون إلـــى حـــوالى 290°م بـــالمرور خـــلال مصفوفة من مجمعات التركيز من نوع حوض القطع المكافئ. المـــائع الـــساخن يمـــر بطريقة خزان التخزين الحرارى إلى المبادل الحرارى حيث التولوين يغلـــى (عندئـــذ) لتوفير البخار لعمل مجموعة التربين المولد. تستخدم مياه الطلمبات كمبرد فى مكثـــف التربين كما هو موضح فى الشكل (14/14)، ودرجة الحرارة تكون زائدة مثل تلك فى محطة الطاقة التقليدية. الطاقة الكهربية المولدة وهى (150 كيوات) تستخدم فى تـــشغيل محركات كهربية لتشغيل طلمبات الآبار العميقة.



شكل (14/14) تشغيل طلمبة تربينيه تعمل بالطاقة الشمسية

التغطيات الانتقائية: (Selective coatings)

الكروم الأسود (Black chrome) هو أفضل طلاء انتقائى معـــروف. ولـــه قـــوة امتصاص α= 0.95، عند طول موجة مرئى وانبعاثيه (In forced Emissivity) ε= 0.2 - 0.3. وهى غير مكلفة ويعتمد عليها حتى 500°م. لا توجد مادة تغطية انتقائية مناسبة لدرجة حرارة أعلا حتى الآن.

تأثير التكلفة :

التكاليف الرأسمالية لإناء نظم الطاقة الشمسية لتوليد الطاقة الكهربية هى حوالى 3 - 5 أضعاف التكلفة الحالية لنظم الوقود الحفرى، ولكن التكليف الجارية من الواضح أنها منخفضة جداً بالنسبة للنظام الشمسي، وقد ثبت أن محطة الطاقة البرجية (Tower) من المحتمل أن تكون اقتصادية فى المجال 60 - 100 ميجاوات مكافئ. رغم أن اسطوانة القطع المكافئ أو نظام المجمع المجزء (Segmental) يمكن أن تصبح مكلفة لنقل الحرارة من الماص إلى المحرك، فإنها يمكن أن تكون مناسبة لمنشآت الطاقة الصغيرة والمتوسطة. تأثير التكلفة لمثل المنشآت الشمسية سيتحسن كثيراً فى حالة الاستخدام المباشر لإنتاج بخار العمليات أو الماء الساخن للتبريد، مكيفات الهواء. يجب أن يؤخذ فى الاعتبار نظام (Hybrid) (وهو نظام الخليط بين الطاقة الشمسية، الوقود) حيث يمكن استخدام الغلايات التى تعمل بالوقود الحفرى بالإضافة إلى محطات التركيز الشمسى كما فى حالة غيبة الشمس، حيث يعمل المصدر التقليدى بالوقود. فى هذا النظام المخلط يمكن خفض التكاليف الرأسمالية إلى حد كبير. بحيث ملاحظة أن كثير من التقديرات الحالية للتكلفة وهمية إلى حد ما. الصورة الأكثر وضوحاً سوف تظهر فى السنين القادمة حيث يتم تطوير خبرة الأداء بالنماذج التجريبية (Prote types) والمخططات الريادية لمختلف أنواع المركزات.

الفصل الخامس عشر

التوليد الكهربى بالطاقة الشمسية - الفولتية الضوئية

Solar Photo - Voltaics: Electric Power Generation

مقدمة :

الطريقة المفيدة لحصد الطاقة الشمسية هى بتحويلها مباشرة إلى الطاقة الكهربية بواسطة الخلايا الشمسية الفوتوفولتية (Solar photo - voltaic cells). عند سقوط ضوء الشمس على خلايا شمسية (Solar cells)، فإنها تولد تيار كهربى مستمر (DC) بدون استخدام أى مولد ميكانيكى أى أنه فى هذا النظام لتحويل الطاقة فإنه يحدث تحويل مباشر للضوء الشمسي إلى كهرباء فى هذه الحالة مرحلة التحويل إلى الشكل الحرارى الديناميكى لا يكون موجوداً. يعرف التأثير الضوئى – الفولتى بأنه توليد قوة دافعة كهربية (Electromotive) نتيجة امتصاص للإشعاع المؤين (Ionizing). تجهيزات تحويل الطاقة المستخدمة لتحويل ضوء الشمس إلى كهرباء باستخدام التأثير الضوئى الفولتى تسمى الخلايا الشمسية (Solar cells).

فى السنين القريبة توليد الطاقة الضوئية الفولتية (PV) حظى بتقدير كبير كأحد أهم البدائل الواعدة للطاقة. السبب فى ذلك الاهتمام الكبير يعود إلى التحويل المباشر للضوء الفولتى (PV's) لضوء الشمس إلى الكهرباء، وهى الطبيعة الغير ملوثة لإنتاج الطاقة بعيداً عن استخدام الوقود الحفرى والوقود النووى.

ولكن الاستخدام الكبير لمولد الضوء الفولتى تمت إعاقته وتقييده بعوامل اقتصادية، لذلك فبسبب انخفاض التكلفة لمصادر الطاقة التقليدية قد أعاق التطوير لتقنية الخلايا الفوتوفولتية. ولكن تم تبرير استخدام التوليد بالخلايا الفوتوفولتية فى حالات خاصة فقط، غالباً للمواقع البعيدة حيث خطوط الكهرباء أو وسائلها التقليدية لتوفير الطاقة تكون مكلفة. ولكن مع الارتفاع الرهيب حالياً فى أسعار البترول قد تصبح هذه التقنية اقتصادية.

الخلايا الشمسية (Solar cells) يتم تمييزها من التجهيزات التى يشار إليها كخلايا ضوئية (Photo cells) التى تكتشف كثافة الضوء باستخدام خواص التوصيل الضوئى للمواد (Hoto conductivity). الخلايا الضوئية الشديدة الحساسية للضوء، نظراً لأن قدرتها على التوصيل قد تتغير طبقاً للتغيرات الصغيرة فى شدة الضوء. فإن تلك الخلايا الضوئية (Photo cells) تستخدم فى قياسات الضوء فى كاميرات التصوير. وهى لا تولد فولت ولذلك تتطلب بطاريات لعملها. الخلايا الشمسية (Solar cells) تم تطويرها خلال عام 1950 هذه الخلايا برهنت على أنها أفضل مصادر للطاقة للمهام خارج نطاق الأرض وأكثر من 1000 من الأقمار الصناعية استخدمت الخلايا الشمسية تم استخدامها خلال الفترة من 1960 إلى 1970. فى منتصف عام 1970 تم عمل إجراءات لاستخدام

الخلايا الشمسية فى الاستخدامات الأرضية. منذ 1975 معظم استخدام الخلايا الشمسية كان على الأرض، رغم أنه مازالت المصدر الرئيسى للطاقة فى استخدامات الفضاء.

التأثير الفوتوفولتى يمكن ملاحظته غالبا فى أى وصلة للمواد التى لها خواص كهربية مختلفة، ولكن الأداء الأفضل الآن قد أصبح من الخلايا المستخدمة للمواد شبه الموصلة. خاصة أن كل الخلايا الشمسية المستخدمة لكل من الفضاء وفى الاستخدامات الأرضية قد تم عملها من مادة السيليكون الشبه موصلة. الخلايا فى المستقبل قد تستخدم تلك المواد الشبه موصلة مثل (Gallium arsenite , Capper sulphate , cadsuplide ..الخ).

تحويل الطاقة الشمسية الفوتوفولتية هو واحد من مصادر الطاقة الغير تقليدية الواعدة ذات الاعتمادية من مستوى الميكرو إلى مستوى الميجا. مميزاتها هى:

1- التحويل المباشر لدرجة حرارة الحيز للإشعاع الشمسى إلى الكهرباء خلال تجهيزه بسيطة للحالة الصلبة.
2- عدم وجود أجزاء متحركة.
3- القدرة على الأداء بدون مراقبة لفترات زمنية طويلة كما هو واضح فى برنامج الفضاء.
4- الطبيعة النسقية المعيارية (Modular) التى فيها التيارات المطلوبة، فروق الجهد، مستويات الطاقة يمكن الحصول عليها بمجرد الإكمال والدمج (Integration).
5- تكاليف الصيانة منخفضة حيث يكون من السهل تشغيله.
6- غير مسبب للتلوث.
7- طول فترة الخدمة، وزيادة الاعتماد عليه إلى حد كبير.

بعض العيوب لهذه النظم :

العيوب الأولى التى يمكن التغلب عليها جزئيا بالتركيز، أما الثانية فهى عيب فى نظام نظم الفولتية الضوئية والذى يمكن التغلب عليه باستخدام بطاريات التخزين العادية. هناك جهود نحو خفض التكلفة لوحدة الوات خلال ابتكارات تكنولوجية فى معظم دول العالم.

يتكون نظام الفوتوفولتية (PV) من الآتى:

1- مصفوفة الخلية الشمسية.
2- وحدة تسوية الحمل (load leveller).

3- نظام تخزين.

4- نظام تتبع (عند الضرورة).

لذلك فإن الخلية الشمسية تكون جزء فقط رغم أنها أهم جزء فى نظام الفوتوفولتية.

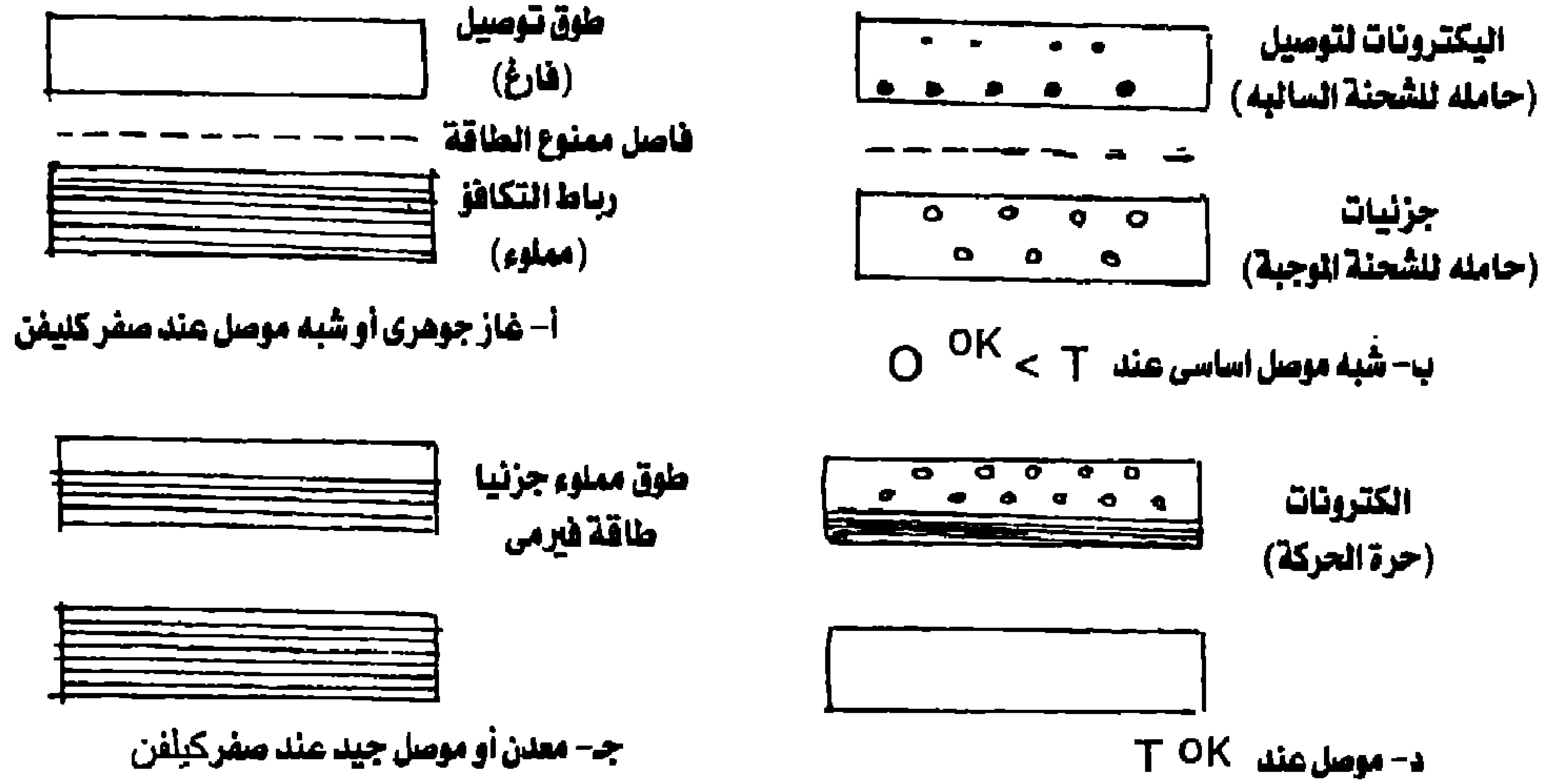
فى الاستخدام الحقيقى، يتم توصيل الخلايا الضوئية فيما بينها فى مجموعات معينة على التوالى/على التوازى لتكوين نماذج نسقيه (Modules). هذه النماذج يتم غلقها بإحكام للحماية ضد التآكل، الرطوبة، والتلوث وعوامل التعرية. مجموعة من النماذج النسقيه تشكل مصفوفة (Array). متر مربع واحد من المصفوفة المثبتة المواجهة نحو الجنوب تنتج تقريباً 50 كيلوات ساعة من الطاقة الكهربية فى يوم الإشماس العادى. فى حالة ضبط توجيه المصفوفة لمواجهة أشعة الشمس فى أى وقت، فإن الخرج يمكن أن يزيد بنسبة 30%. نظام الفوتوفولتية يمكنه إنتاج خرج فى حالة وجود ضوء الشمس فقط. فى حالة الرغبة فى استخدام خلال ساعات عدم سطوع الشمس، فإنه يلزم توفير نظام مناسب للتخزين من البطاريات. لمعرفة خصائص الخلايا الشمسية يلزم أولاً معرفة خواص شبه الموصلات.

مبادئ شبه الموصلات: **(Semiconductors principles)**

القدرة على التوصيل للمواد الصلبة تختلف خلال مجال كبير. القيم المثالية تكون من أقل من 2×10^{-17} مهو/متر للفضة، الوصل الجيد. المواد ذات قيم التوصيل المتوسطة تسمى شبه الموصلات. شبه الموصلات هى درجة من المواد ذات توصيل كهربى تقريبا ما بين المعادن والعوازل (Insulators). ظواهر التمييز للموصلات والعوامل وشبه الموصلات يتم أفضل شرح له بما يسمى نظرية الخدمة "Band theory" أو طاقة نظام الحزمة للمواد.

الذرات التى ليست جزء من النظام الأكبر تحتوى اليكترونات التى لها فقط مستويات طاقة منفرد (Discrete) أو وجود الكمية فى شكل مضاعفات لكم معين (Quantizes). ولكن، نظراً لأن الذرات تقترب من بعضها، فإن الإلكترونات المحيطة بالنويات (Nuclei) تبدأ فى التأثر والتفاعل التبادلى (Interaction) مع الإلكترونات من الذرات المجاورة. مبدأ بولى للاستبعاد (Pauli exclusion) (الذى يحكم حالات الإليكترونات فى البناء الذرى. كل مدار أو مستوى طاقة له قدرة ثابتة من الإليكترونات أو يمكنه احتواء عدد معين فقط من الإليكترونات) يحدد عدد الإليكترونات التى يمكن أن توجد عند أى مستوى طاقة مسموح به. عند اقتراب الإليكترونات من بعضهم البعض، فإن مستويات الطاقة المنفردة للإلكترونات للذرات المنفردة تتطابق (Overlap)

وتصبح حزمة من الطاقة المتاحة. مستويات الطاقة فى المواد الصلبة تمثل عادة فـــى مخطط واحد لبعد الطاقة كما هو موضح فى الشكل (1/15).



شكل (1/15) مخطط لطوق الطاقة بالعقد الواحد لمختلف أنواع المواد

توجد مناطق أو حزم التى يسمح فيها للإلكترونات بالوجود ومناطق أو حزم أخرى التى لا يسمح فيها للإليكترونات بالوجود خلال النظام. الخاصية الكهربية للمادة تتحدد بمكان انتشار الإليكترونات خلال تلك الحزمة المسموح بها. الإليكترونات تكون باحثة باستمرار عن مستويات الطاقة المنخفضة ولكن تظل مثارة باستمرار إلـــى الحـــالات الأعلا بالتفاعلات مثل مع البروتونات. تمثيل الحزمـــة يكـــون فقـــط حيـــث يـــسمح للإلكترونات بالوجود ولا تظهر الطاقة الحقيقية التى للإليكترونات. انتشار الإليكترونات فى المستويات المسموح بها يمكن وصفة بمعادلة (Fermi) والتى تعطى الاحتمال f(E) أن الحالة عند الطاقة (E)، بواسطة الإليكترون وتكون كالآتى:

$$F(E) = \frac{1}{Exp[(E - Ef)/KT] + 1}$$

حيث :

f(E) = دلالة فيرمى

E = الطاقة للحالة المسموح بها

Ef = طاقة فيرمى

K = ثابت بولتزمان

T = درجة الحرارة المطلقة

مستوى طاقة فيرمى (Ef) يعرف بأنه الطاقة التى عندها احتمال حالة الامتداد بواسطة إليكترون تكون نصف واحد تماماً (one - Half). طريقة أخرى للنظر على طاقة فيرمى هو أنها أعلا حالة طاقة التى يمكن أن تكون لدى الإليكترون عند درجة حرارة صفر كيلفن. فى الاتزان الحرارى الحركى (Thermodynamic Equilibrium) يكون مستوى طاقة فيرمى ثابتاً خلال المادة، وفى حالات عدم الاتزان تكون على الأقل عند عبر الالتصاق بين مادتين.

توزيع الإليكترونات فى الحزمة الخارجية أو أعلا طاقة يحدد الخواص الكهربية والحرارية للمادة. هذا يشبه الإليكترون الخارجى فى الذرة. والإليكترون التكافؤ الذى يحدد غالباً الخواص الكيميائية للذرات.

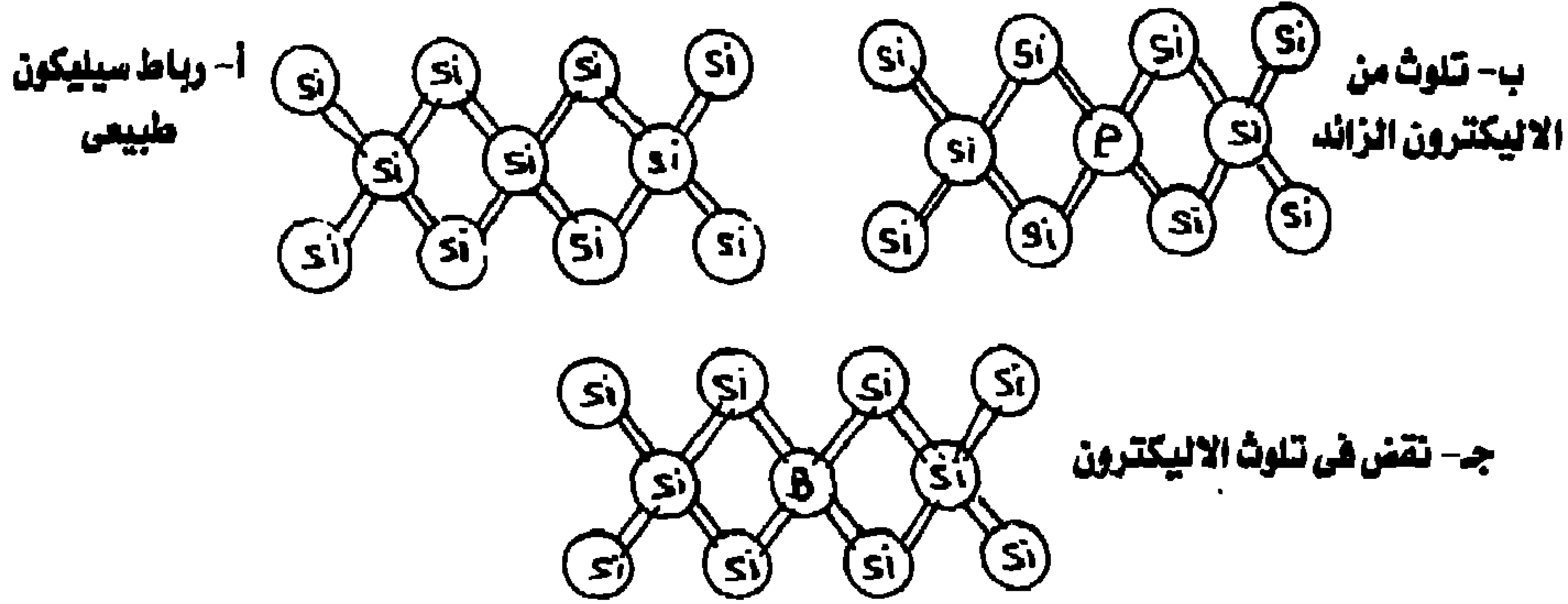
إذا كانت المادة (مثل معظم المعادة) لها حزمة طاقة خارجية مسموح بها مملوءة جزئياً، فإن المجال الكهربى الخارجى المسلط يمكن أن يزيح مكان مستوى الطاقة ويسبب تدفق التيار. إذا كان حالة حزمة الطاقة المسموح بها فارغة تماماً فإنه من الطبيعى ألا يوجد إسهام إلى تيار كهربى فى تلك الحزمة. بالمثل، فى حالة الامتلاء الكامل للحزمة فإنه لا توجد مساهمة لتيار كهربى بتلك الحزمة. المواد التى لها أعلا طاقة إليكترونات فى حزمة مملوءة تماماً تكون لذلك عوازل كهربية جيدة. الشكل (15/1) يبين حزم طاقة مبسطة للمعادن، العوازل، شبه الموصلات. أعلا حزمة مشغولة تقابل حالة المود (Ground state) لإليكترونات التكافؤ الخارجى ولذلك تسمى حزمة التكافؤ (Valence Band). فى العازل تكون حزمة التكافؤ كاملة الامتلاء. بالإضافة، فإن العرض بين فجوة الطاقة الممنوعة ما بين قمة حزمة التكافؤ والحزمة التالية المسموح بها، يسمى حزمة الحالة (Condition Band)، تكون كبيرة بحيث أنه تحت الحالات العادية فإن إليكترونات التكافؤ يمكنها عدم قبول من المجال المستخدم حيث لا يوجد حالات فراغ طاقة مسموح به ومتاح بسهولة. شبه الموصلات تكون مشابهة للعوازل فى شكل الحزمة باستثناء أنه فى حالة شبه الموصلات تكون فجوة الطاقة الممنوعة أضيق كثيراً. العازل الجيد عند درجة حرارة الغرفة يمكن أن يكون له فجوة طاقة ممنوعة بمقدار واحد فولت مكافئ فقط (Iev). نظراً لأن شبه الموصلات لها فجوة طاقة ممنوعة أصغر كثيراً، فإن الإليكترونات يمكن أن تثار إلى حزمة التوصيل بسهولة بالوسائل إما الحرارية أو البصرية. فى حالة إثارة إليكترون عبر الفجة الممنوعة، فإنه يترك الفراغ فى حزمة التكافؤ، والذى يشار إليه كثقب "hole". الإليكترون القريب من الثقب يمكن أن يقفز ليملأ هذا الفراغ، تاركاً ثقب جديد فى

المكان الذى كان يشغله، وهذا الفراغ يمكن امتلاؤه بالتالى بواسطة إليكترون آخر، وهكذا. يتم عندئذ حمل حقيقى للتيار بواسطة الإليكترونات المتحركة فى مراحل (Relays)، ولكن يمكن تصويرها بالتساوى كتدفق للثقوب ذات الشحنة الموجبة التى تتحرك فى الاتجاه المضاد. التوصيل الحرارى فى شبه الموصل يكون بسبب كلا من الإليكترونات فى حزمة التوصيل والثقوب. عندما يكون توصيل التيار فى شبه الموصل بسبب الإليكترونات المثارة من حزمة التكافؤ فقط إلى حزمة التوصيل، فإن المادة تسمى شبه موصل أصيل (Intrinsic semiconductor).

أى حيود عن الشكل الصحيح للبلورة سوف يحدث اضطراب فى التكرار الدورى للنظام (Priodicity of the system) وينتج عنه مستويات طاقة إضافى للإليكترون خلال وبين الحزم المسموح بها. عدم كمال أو نقص البللورات يمكن أن يأتى من العديد من المصادر مثل الذرات الغريبة، مواقع الشبكة الفارغة (Vacant lattice sites)، الذرات المقحمة فى النسق البللورى (ذرات خلالية) (Interstitial atoms)، إزاحة فى البللورة حدود المحببة، ومع سطح البللورة. معظم شبه الموصلات المستخدمة تجارياً تصنع مع ملوثات مضافة لإعطاء الخواص المطلوبة. بإضافة كمية صغيرة من الملوثات المسماة (Dopans) إلى بلورات شبه الموصل يكون من الممكن خلق رقم يمكن التحكم فيه لمستويات طاقة مسموح بها خلال فجوة الطاقة الممنوعة. المكونات المختلفة سوف تدخل مستويات طاقة فى أماكن مختلفة نتيجة لذلك يمكن تطوير المواد التى سوف توصل الشحنات غالباً إما بالاليكترونات أو الثقوب (Holes) فى المادة. عندما يكون التوصيل فى شبه الموصل بسبب الملوثات، فإن المادة تسمى شبه الموصل الأصلى الشكل (2/15) الشكل (أ) يبين الرباط الطبيعى الذى يوجد باقتسام الإليكترون فى بللورة السيليكون المثالية. استبدال ذرة الفوسفور كما هو موضح فى الشكل (ب) يجعل زيادة المتاح من الإليكترون. نظراً لأن هذا الإليكترون الزائد يكون معلقاً فى المكان بواسطة جاذبية كولومب فقط (Coulomb attraction) إلى ذرة الفوسفور، فإنه يمكن إزالتها وعمل التوصيل.

الملوثات مثل الفوسفور لها خمسة اليكترونات تكافؤ ولذا لها اليكترون زائد الذى يمكن بسهولة إزالته ليصبح إليكترون توصيل.

الملوث مثل البورون له ثلاث إليكترونات تكافؤ، حيث يوفر موقع مؤقت لأحد إليكترونات الرباط الطبيعية.

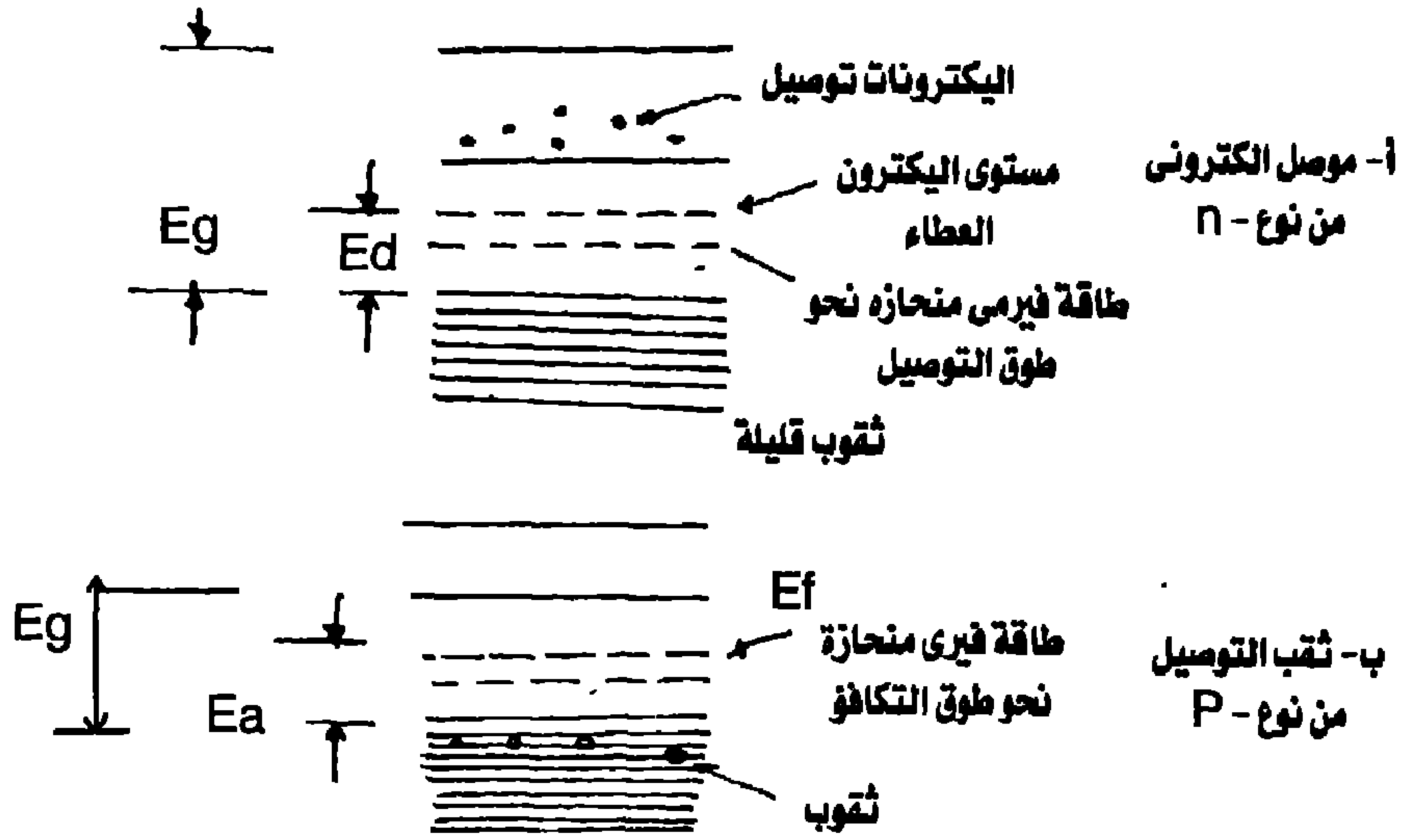


شكل (2/15) ذرات التلوث فى شبكة منظومة السيليكون

الإليكترون ذو طاقة أقل عن تلك اللازمة لتحريك إليكترون التكافؤ خلال فجوة السيليكون الممنوعة كلية. بطريقة مشابهة، الملوث مثل البورون الملوث مثل البارون له ثلاث اليكترونات تكافؤ، التى توفر موقع مؤقت لأحد اليكترونات الرباط العادى.

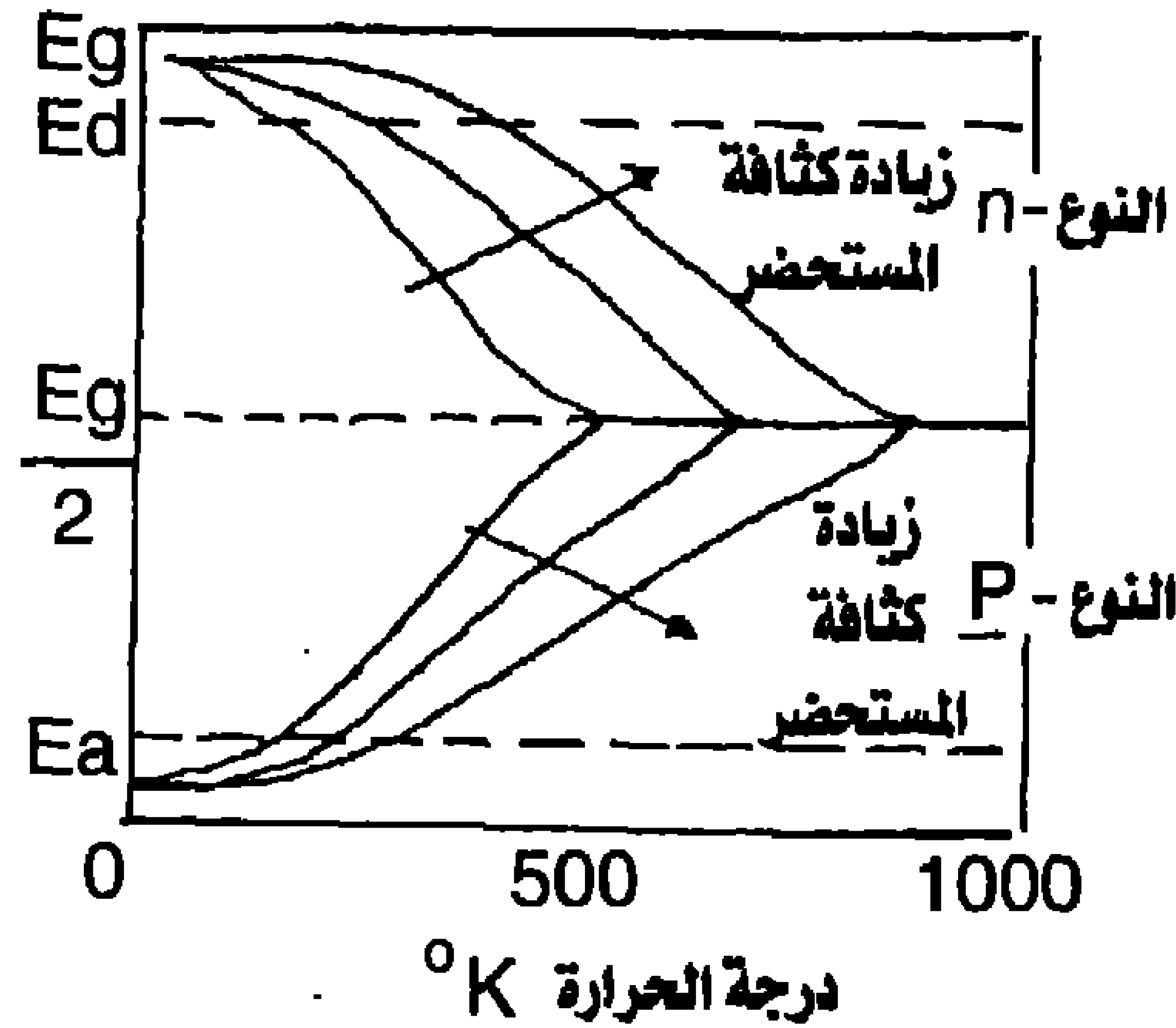
الاليكترونات ذات طاقة أقل كثيرا عن المطلوب لتحريك إليكترون التكافؤ، عبر كل فجوة الطاقة الممنوعة فى السيليكون بطريقة مشابهة الملوث مثل البورون الموضح فى الشكل (جـ) له نقص واحد إليكترون بحيث أن السيليكون المجاور سوف يميل إلى المشاركة. إليكترون التكافؤ يمكن أن يقفز إلى إجمالى فجوة الطاقة. حركة هذا الاليكترون إلى ذلك الموقع سوف يخلق ثقب فى حزمة التكافؤ لتوصيل الشحنة الموجبة. كلا النوعين السابقين من الملوثات يوفر مستويات طاقة مسموح بها للإليكترون خلال فجوة الطاقة الممنوعة لمادة الأساس. حالة الإلكترون الزائد فى الشكل (15/3-ب) توفر مستوى معطى (donor level) الموضح فى الشكل (3/15-أ) الذى يقبل الاليكترونات من حزمة التكافؤ وبذا يتم عمل الثقوب الموجبة معظم الحامل للشحنة وهذا مادة النوع P- (P-type). لذلك يمكن للملوثات أن توفر اليكترونات زائدة، حاملات الشحنة السالبة، التى فى هذه الحالة تسمى مادة (n-Type) وإذا كانت الملوثات ناقصة فى اليكترونات التكافؤ، فإنها تسمى حاملات الشحنة الموجبة (P-Type).

شبه الموصلات الأصلية لها مستوى طاقة فيرى عند متوسط فجوة الطاقة تماما (Ef=Eg/2)، ويوجد نفس عدد اليكترونات التوصيل كما يوجد ثقوب. كما هو موضح فى الشكل (3/15) مستوى طاقة فيرمى فى شبه موصل أصيل يتم تحريكه نحو مستوى القابل (Ea) (Acceptor level) أو مستوى المعطى (Donor level) (Ed)، طبقا لطبيعة الملوثات. المكان المضبوط لطاقة فيرمى فى تلك المواد يعتمد على مستوى (Doping) (ذرات الملوث فى السنتيمتر المكعب) ودرجة الحرارة المطلقة.



شكل (3/15) مواد شبه موصله جوهريه نوع – n نتيجة الملوثات من الاليكترونات الزائدة التى يمكن اعطائها إلى طوق التوصيل ، مادة النوع – p نتيجة الملوثات مع انخفاض عدد الاليكترونات التى يمكن أن تقبل اليكترون من طوق التكافؤ

الاعتماد على كل من مستوى (Doping) ودرجة الحرارة مبين تخطيطاً فى الشكل (4/15).



شكل (4/15) الاعتماد الكمى لطاقة فيرمى على درجة الحرارة ومستوى المستحضر من الملوثات . نظراً لأن كل مواقع القابل مملوءة مع زيادة درجة الحرارة ، فإن المادة تقترب من خواصها العضوية مع اقتراب طاقة فيرمى وسط فاصل الطاقة الممنوع

نظـــراً لأن ذرة كـــل ملـــوث تـــوفر الإليكتـــرون واحـــد أو قابـــل مكـــان (Acceptor location)، فإن المادة تصبح أكثر فأكثر لكل شبه الموصل الأصلى نظرا لأن الكثير من تلك المواقع يكون مشغولاً. مع زيادة درجة الحرارة، يتم استخدام مواقع ملوثات أكثر وبالتالى فإن طبيعة الإليكترونات المثارة حرارياً خلال فجـوة مـستوى الطاقة الممنوعة يقترب من المستوى الأصلى حيث ($\frac{Eg}{2}$). تأثير زيادة درجة الحرارة سيكون له وصلة الخلية الشمسية (P-n) لإحضار طاقات فيرمى لكلا الجانبين أقــرب، ولذا انخفاض خرج فرق الجهد والكفاءة.

مبادئ الفولتية - الضوئية Photo - voltaic principles:

الطاقة على المستوى المجهرى يتم نقلها ليس باستمرار ولكن فى قطـع منفـردة (Discrete pieces)، أصغرها هو الكم (Quantum) وهو أصغر مقدار مــن الطاقــة يمكن أن يوجد مستقلاً. الضوء هو طاقة إشعاعية، حيث كمه يسمى الفوتون (Photon) أو الكم الضوئى. لقد كان (Max planck) أول من اقترح أن طاقة الكم الضوئى تتناسب مع تردد الإشعاع، أو

$$Ep = h\nu = h\frac{c}{\lambda}$$

حيث:

Ep = طاقة الكم الضوئى (الفوتون)

H= ثابت بلانك $6.6256x\ 10^{-36}$ J.S

$4.13576\text{-}\ 10^{-15}$ eV.s

V = تردد الإشعاع - هيرتز (Hz)

C = سرعة الضوء (2.997925×10^{8} m/s)

λ = طول موجة الإشعاع، متر

عند أى تردد (V)، تكون طاقة الضوء مضاعفات (hλ)، وليست جزء منها. لــذلك الضوء له شخصيتين. فهو يتصف بكل من الطاقة المنقولــة بكميــات منفــردة، الكــم الضوئى (Photons)، فى موجات ذات تردد ولهذا، طــول الموجــة. الإشــعاع مــن الشمس، أو أى مصدر مشع آخــر، يكــون لــذلك مكونــا مــن كتــل مــن الطاقــة (Energy chunks)، الكم الضوئى (Photons) كل واحد يحمل كمية من الطاقة تساوى تماما ترددها مضروباً فى ثابت بلانك. لذلك، فــإن حزمــة الأشــعة ذات الجــسيمات المتماثلة النوع والطاقة (The monoenergetic radiation beam) له طــول موجــة

نصف الميكرومتر (نصف ميكرومتر = 0.5×10^{-6} سم) طاقة الكم الضوئى الواحد هو:

$$Ep = 4.13376x10^{-15} x \frac{3x10^{8}}{0.5x10^{-6}}$$

$$= 2.48ev$$

تذكر الآن، أن الانتشار الطيفى للإشعاع الشمسى الأرضى يتوقف على الانتشار والامتصاص لعدة مكونات. تذكر كذلك أنه يتوقف على كتلة الهواء (ma)، والتى تقدر

$$Ma = \frac{1}{Cos\theta_2}$$

حيث:

θ_z هى زاوية السمت (أى الاتجاهات الصحيحة). وهى تتوقف كذلك على عدد من السنتيمترات من بخار الماء المرسب (w) فى الجو. (θ_z) تتغير خلال اليوم من أدنى θ_z التى تحدث عند الظهر وتلك المتغيرة مع المواسم ما بين θ_z يساوى خط العرض $\pm$ 23.45، 90^o. الكمية المفيدة فى حسابات الخلية الفوتوفولتية هى كثافة الكم الضوئى (ϕp) (Hoton flux) وهى تعرف بالآتى:

ϕ_p = عدد الكم الضوئى الذى يعبر وحدة المساحة (عادة سنتيمتر مربع عمودى على حزمة الإشعاع فى وحدة الزمن - عادة الثانية).

كثافة التدفق الطاقة الشمسية (E") مرتبطة بكثافة تدفق الكم الضوئى (Photon flux)

$$E'' = \Sigma_i \phi_p ihv$$

هنا الحرف السفلى (L') يبين التردد أو مجال الطاقة. تلك المعادلة يمكن تبسيطها بفرض متوسط التردد (Vav) وطول الموجة المقابل λav والحصول على إجمالى كثافة تدفق الكم الضوئى

لذلك : $E'' = \phi_p hvav = \phi_p h\left(\frac{C}{\lambda av}\right)$

خارج المجال الجوى للأرض فإن كثافة فيض الطاقة الشمسية يساوى الثابت الشمسى Isc (Solar constant)

$$Isc = 1353W/m^2 \text{ or } = 0.1353W/Cm^2$$

وعند m = صفر، W = صفر

ومتوسط طاقة الكم الضوئى hav = 1.48ev

لذلك

$$\phi p\ (\text{Extraterrestrial}) = \frac{0.1353}{1.84} x \frac{1}{1.6021x10^{-19}}$$

$= 5.8 \times 10^{17}$ photons/(s.cm^2)

كلا من شدة الإشعاع الشمسى الأرضى (Terrestrial Insolation) ومتوسط طاقة الكم الضوئى يقل مع زيادة (m) وزيادة (w).

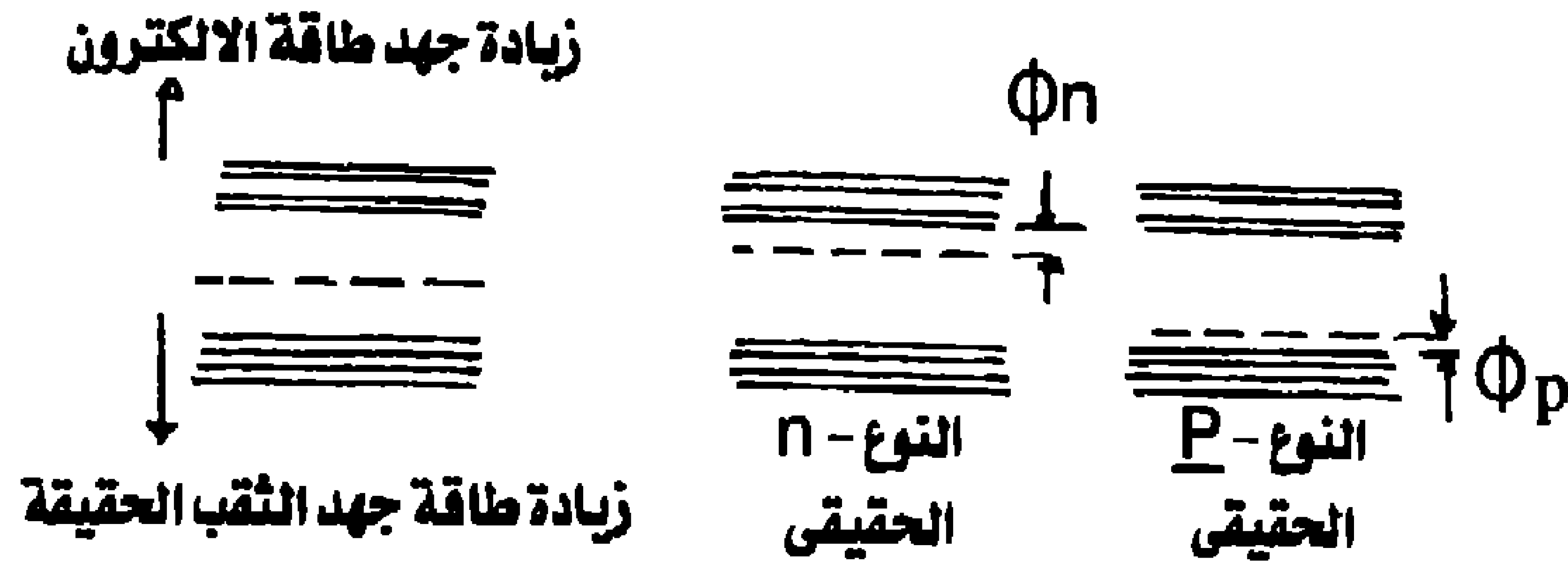
لذلك فإن كثافة تدفق الكم الضوئى تقل من (5.8×10^{17})، حوالى نصف تكل الكمية عند (m=3) و (w=5).

عند تصادم الأشعة الشمسية أى كثافة تدفق الكم الضوئى وصلة شبه الموصل (P-n) أى أنها تسبب ارتفاع الإليكترونات إلى حزمة التوصيل فى مادة (n) وتحرك الثقوب إلى حزمة التكافؤ فى المادة (p) عند اتصالها بحمل، لذلك فإن الاليكترونات سوف تتسرب من (n) إلى (P) عبر الوصلة، وبذا خلق تيار كهربى خلال الأحمال وبالتالى طاقة كهربية، والتى هى بدلالة كثافة تدفق الكم الضوئى.

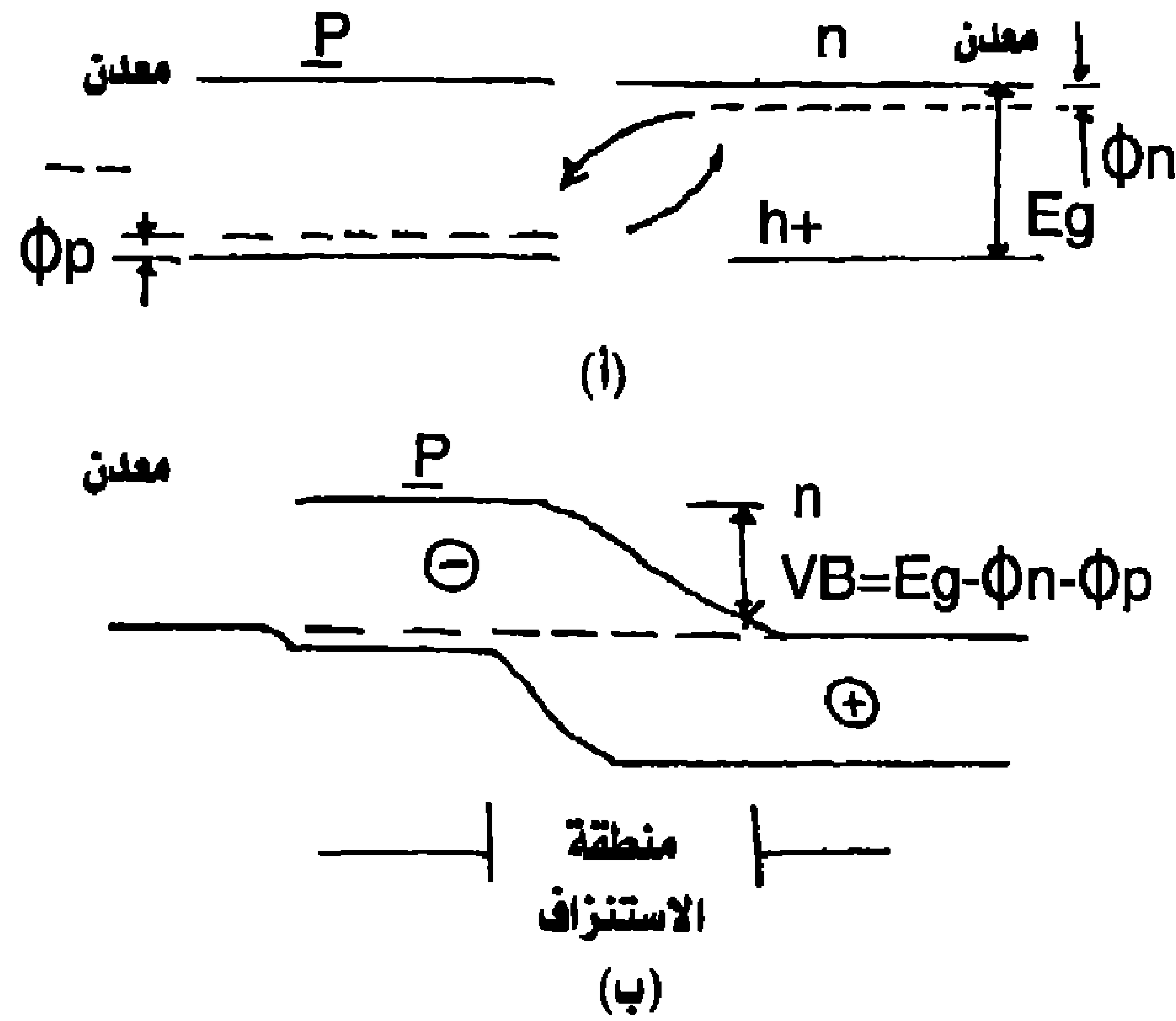
مستوى فيرمى: مادة النوع (n-) لها توصيل أكبر من المادة الأصلية ذلك لأن الإليكترونات تدخل بسهولة حزمة التوصيل بالإثارة الحرارية. بالمثل النوع (p) له ثقوب التى تدخل بسهولة حزمة التكافؤ. مستوى فيرمى هو طريقة وصيغة تحليله لشرح هذا (الشكل 5/15). إنه مستوى الطاقة الواضح خلال فجوة الحزمة الممنوعة (Forbidden Band gap)، والتى تثار (Excited) لتصبح حامل للشحنة. الاحتمال لهذا يتغير حيث $\text{Exp}\ [-e\phi/kt]$ وأن (e) هى شحنة الإليكترون والثقب، ($e = 1.6 \times 10^{-19} c$)، و ($\phi$) هى فرق الجهد الكهربى بين مستوى فيرمى والتكافؤ أو حزم التوصيل طبقاً للمناسب.

لاحظ أن الاليكترونات يتم إثارتها إلى أعلا (up) نحو حزمة التوصيل، والثقوب يتم إثارتها إلى أسفل (Down) نحو حزمة التكافؤ. الطاقة الكامنة تزداد إلى أعلا للإليكترونات وإلى أسفل للثقوب على المخطط التقليدى.

مادة وصلة النوع -P يمكن أن يكون لها ملوثات زائدة مانحة (Donor) مضافة غلى مناطق موصفه بحيث أن تلك تصبح النوع (n) فى المادة بخلاف ذلك المستمره، والعكس صحيح. منطقة مثل تغير (Dopan) تكون وصلة (التى لا تتكون بالوضع الطبيعى لقطعتين منفصلتين من المادة معا). تصور رغم ذلك أن الوصلة قد تكونت فى لحظة بخلاف ذلك المادة المعزولة الشكل (6/15-أ).



شكل (5/15) مستوى فيرمى فى شبه الموصلات موضح بالخطوط المهشرة



شكل (6/15)

أ- مخطط تكون خليه مشعه الموصل P-n . مستويات فيرمى للمكونات المعزولة موضحة بالخطوط المهشرة .

ب- مخطط مستوى الطاقة لشبه الموصل P-n مع المعدن الموصلات الأوميه (الغير معالجة) . الاليكترونات والثقوب قد تسريا للوصول إلى الاتزان .

زيادة الإليكترونات المانحة من مادة النوع (-n) تعبر إلى النوع (-p) القابل (Acceptor) والعكس صحيح للثقوب. يتم الوصول إلى حالة استقرار فى النهاية. المجال الكهربى، بسبب تراكم الشحنات ذات العلامة العكسية على كل جانب من الوصلة، توازن قوى الانتشار الناتجة من اختلاف التركيزات للإليكترونات الحرة والثقوب. نتيجة لذلك فإن مستوى فيرمى (Fermi) يكون عند جهد ثابت خلال كل المادة. ولكن التحرك النهائى للشحنة قد حدث، مع زيادة الشحنة السالبة على جانب (p) والشحنة الموجبة على جانب (n).

حزمة الفجوة (Eg) لازالت موجودة خلال المادة، ولـذا فـإن حزمـة التوصـيل والتكافؤ لها خطوة (Have astep) عند الوصلة كما هو موضح فى الشكل (ب). عمق الخطوة هى (V_B) فى الطاقة، V_B فى فرق الجهد الكهربى (الفولت). $V_B(i=0)$ هو جهد حزمة الجهد (Band step potential) عند تيار صفر خلال المياه وهو الجهد المكون فى المجال للوصلة المعزولة. لاحظ أن ($Eg > V_B$) لأن

$$VB(i=o) = Eg - (\phi n + \phi p)$$

($\phi n + \phi p$) تقل مع زيادة تركيز (Dopan) بالنسـبة للسـيلكون المعـالج بـشدة (Heavily Doped si)، وصلة P-n (أيونات المعالجة $1.11ev = Eg$, -Dopant Ions و $- 10^{22}m^{-3}$) $\phi n + \phi p = 0.3v$

لذلك فى لظلام مع تدفق التيار

$$V_{B(I=o)} = 0.8v$$

منطقة الاستنفاذ أو النضوب:

ميزان الطاقة الكامنة يوازن الحاملات لكل جانب من الوصلة (الممثلـة بواسـطة استمرار مستوى فيرمى عبر الوصلة) ينتج عنه منطقة (النوع -P) ذات الشحنة السالبة (إلى أعلا Up على مخطط الطاقة) والعكس صحيح لمنطقة المعطى (Donor region). التأثير النهائى هو لسحب حاملات الإليكترون والثقب خارج الوصلة، تاركة لهـا ذات تصوب واستنفاذ كبير في إجمالى كثافة الحامل (Carrier). لنفترض n , p هما كثافات حامل الاليكترون والثقب. عندئذ فإن ناتج $C = np$، وهو ثابت خلال المادة. كمثال

(1) منطقة (P):

$$np = C = (10^{11} m^{-3})(10^{22} m^{-3})$$
$$= 10^{32} m^{-6}$$
$$n + p = 10^{22} m^{-3}$$

(2) منطقة (n) :

$$np = C = (10^{22} m^{-3})(10^{11} m^{-3})$$
$$= 10^{32} m^{-6}$$
$$n + p = 10^{22} m^{-3}$$

(3) منطقة الاستنفاذ أو النضوب: n-p بالتعريف. لذلك

$$n^2 = p^2 = C = 10^{32} m^{-6}$$
$$n = p = 10^{16} m^{-3}$$
$$n + p = 2 \times 10^{16} m^{-3}$$

البيان النموذجى لهذا المثال يوضح أن كثافة الحامل للشحنة الكلية عند منطقة الاستنفاذ والنضوب يقل بحوالى 10^5 مقارنة بكل جانب لمناطق P, n.

التأثير الفوتوفولتى يمكن ملاحظته فى الطبيعة فى مختلف المواد، ولكن المواد التى أظهرت أحسن أداء فى ضوء الشمس هى شبه الموصلات كما تم ذكره. عند امتصاص الكم الضوئى (Photons) من الشمس فى شبه الموصل، فإنها تنتج اليكترونات حرة ذات طاقات أعلا عن الاليكترونات التى توفر الرباط فى البللورة الأساسية. بمجرد إنتاج تلك الإليكترونات الحرة، فإنه يجب أن يكون هناك مجال كهربى لتحث (Induce) تلك الإليكترونات عالية الطاقة للتدفق خارج صبة الموصل لأداء عمل مفيد. المجال الكهربى هو معظم الخلايا الشمسية يتم توفيره بوصلة من المواد التى تعطى خواص كهربية مختلفة.

للحصول على خرج الطاقة من تفاعل الكم الضوئى فى شبه الموصل، يلزم ثلاث عمليات:

1- الكم الضوئى (Photon) يجب أن يتم امتصاصه فى الجزء النشط من المادة وينتج عنه إثارة للإليكترونات إلى طاقة كامنة أعلا.

2- شحنة ثقب –القطب (Electrode - hole) الناتجة بالامتصاص يجب أن تكون منفصلة طبيعيا وتحركت نحو طرف الخلية.

3- حاملات الشحنة يجب إزالتهم من الخلية وتسليمهم إلى الحمل المفيد أن يفقدوا طاقتهم الزائدة.

لإكمال العمليات السابقة، فإن الخلية الشمسية تتكون من:

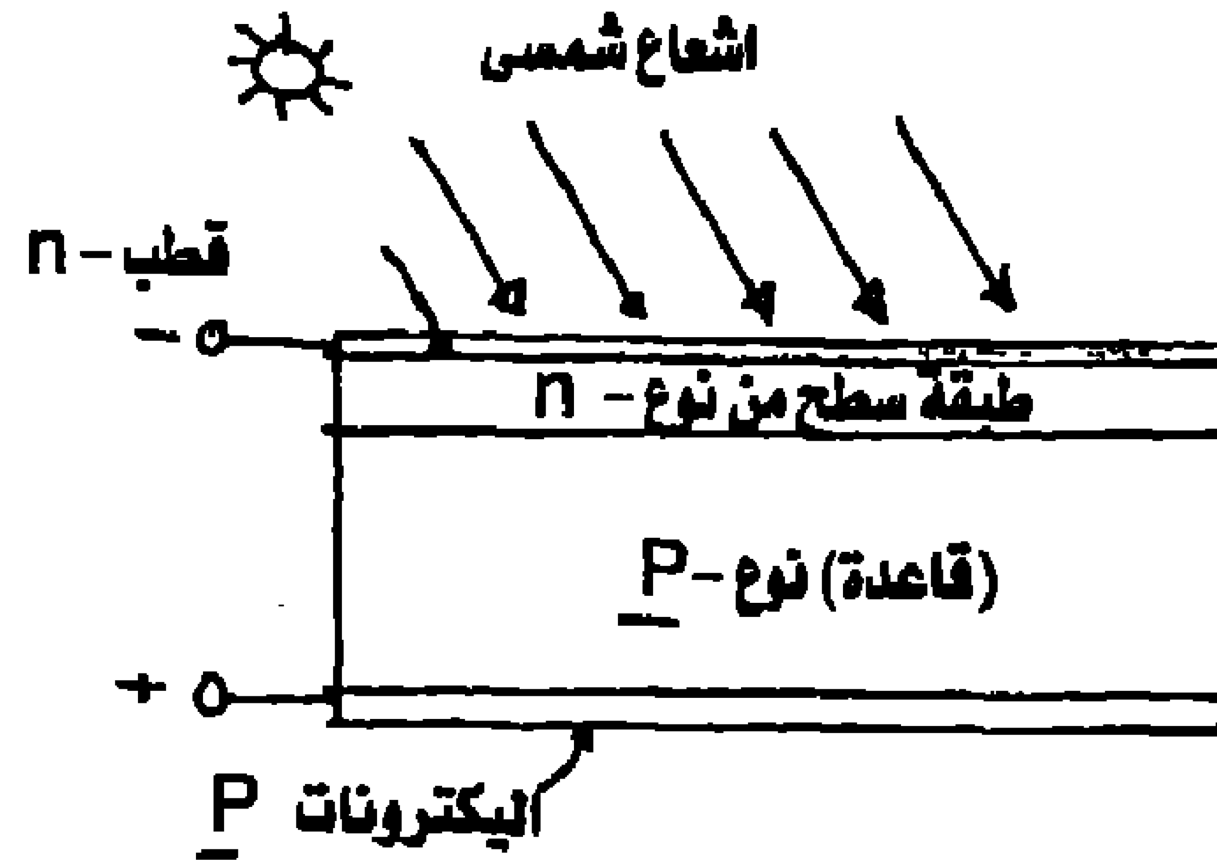
أ– شبه موصل الذى فيه زوج ثقب الإليكترون Electron holepairs يتم إيجادهم بامتصاص الإشعاع الشمسى الساقط.

ب– منطقة محتوية على المجال المندفع (Drift field) لفصل الشحنة،

جـ– مقدمة تجميع الشحنة وأقطاب الخلف.

التأثير الفوتوفولتى يمكن وصفة بسهولة بوصلة (n-p) فى الشبه موصل. فى شبه الموصل الأصلى مثل السيليكون، كل واحد من اليكترونات التكافؤ الأربعة لذرات المادة تكون مرتبطة فى رباط كيميائى، ولا يوجد اليكترونات حرة عند الصفر المطلق. إذا كانت قطعة من مثل هذه المادة تم معالجتها (Doped) بمادة ذات خمس اليكترونات تكافؤ مثل الزرنيخ أو الفوسفور، فإنه سوف يكون هناك زيادة من الاليكترونات فى ذلك الجانب، والذى يصبح من نوع شبه الموصل (n-tpe). الاليكترونات الزائدة سوف تكون عمليا للتحرك فى شبكة شبه الموصل. وعند معالجة الجانب الآخر لنفس القطعة

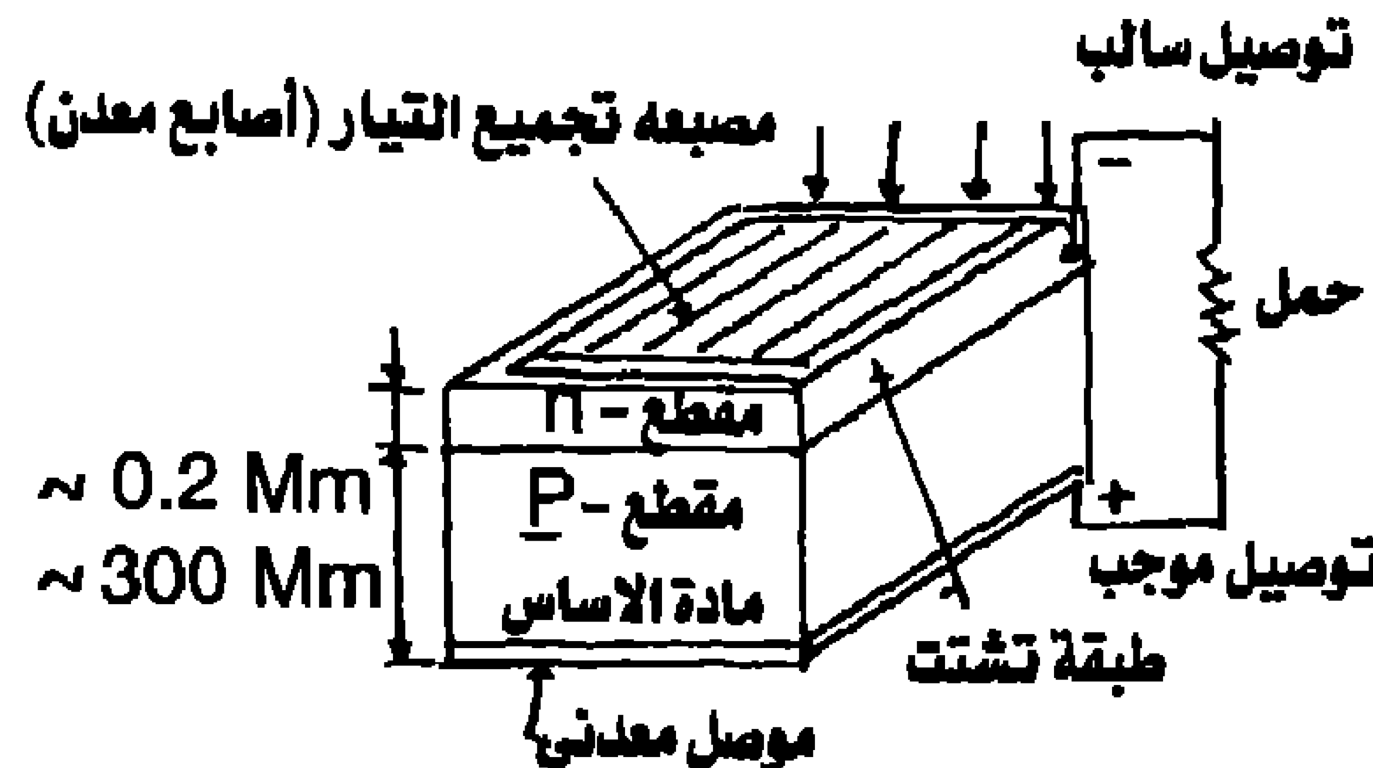
بمادة ذات ثلاث اليكترونات تكافؤ، مثل البورون، فإنه سوف يكــون هنــاك اســتنفاذ ونضوب للاليكترونات والذى يؤدى إلى شبه الموصل مــن النــوع (P-Type). هــذا النضوب يعبر عنه بمصطلح زيادة الثقوب مرة التحرك فى الشبكة (Lattice). مثل هذه القطعة من شبه الموصل، ذات جانب واحد من النوع (P-Type) والآخــر (n-Type) تسمى الوصلة (P-n)، الشكل (7/15).



شكل (7/15) نموذج n على P_ فوتوفولتى

فى هذه الوصلة بعد امتصاصة الكم الضوئى (Photons)، فإن الاليكترونات الحرة على الجانب (n-side) سوف تميل للتدفق نحو الجانب (p-side)، والثقــوب الجانــب (p-side) سوف تميل إلى التدفق نحو المنطقة (n) لتعويض النضوب لكل منهم. هــذا التسرب (diffusion) سوف يخلق مجال كهربى (Ef) من المنطقة (n) إلــى المنطقــة (p). هذا المجال سوف يزداد لحين وصوله حالة الاتزان بالنسبة لــ (Ve)، مجمــوع جهود التسرب للثقوب والاليكترونات.

فى حالة عمل توصيل كهربى لكلا مادتين شبه الموصل والتوصيلات يتم توصيلها خلال موصل كهربى خارجى، فإن الإليكترونات الحرة سوف تتدفق من مادة النوع (n) خلال الموصل إلى المادة النوع (p) الشكل (8/15).



شكل (8/15) مخطط لنموذج خليه شمسية موضحة التنظيم الطبيعى لمعظم المكونات

هنا الاليكترونات الحرة سوف تدخل الثقوب (Holes) وتصبح اليكترونات مرتبطة (Bound). لذا فإن كلا من الاليكترونات الحرة والثقوب سوف تصبح ملغاة ومزالة. تدفق الاليكترونات خلال الموصل الخارجي تشكل تيار كهربى الذى سوف يستمر طالما يتكون الزيادة من الاليكترونات الحرة والثقوب بواسطة الإشعاع الشمسى. هذا هو أساس التحويل الفوتوفولتى أو الضوئى الفولتى (Photo voltaic)، أى تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربية. مجموع شبه الموصلات من النوع (n-type) والنوع (P-type) لذلك يشكل خلية فوتوفولتية (PV) أو خلية شمسية. كل تلك الخلايا يولد تيار مستمر (DC) الذى يمكن تحويله إلى تيار متغير (AC) عند الحاجة.

وصلة شبه الموصل: (Semiconductor junction)

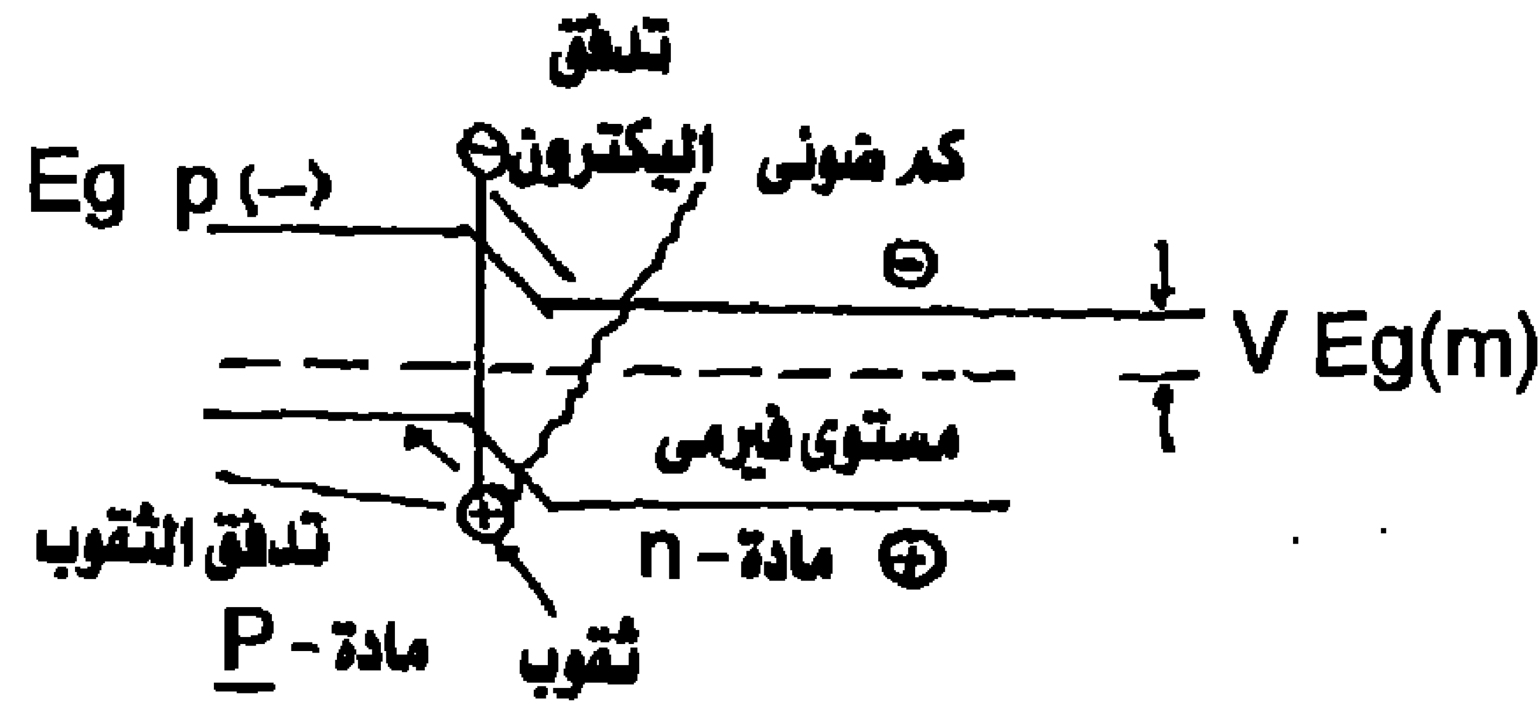
الخلايا الشمسية الحديثة تستفيد من المواد الشبه موصلة، عادة المبنية على بلورة السيليكون المنفردة. عند المعالجة بالفوسفرو، الزرنيخ، أو الانتيمونى، فإن السيلكون يصبح شبه الموصل من النوع (n) الذى سبق وصفه، وعند المعالجة بالبورون، الألومنيوم، الانديام (Gallium , Indium)، فإنه يكون شبه الموصل من النوع (p). فى حالة التصاق شبه الموصل من النوع (p) مع واحد من النوع (n) فإنهما يكونا وصلة p-n أو (n-p). إذا كان كلا مادتين شبه الموصل مشتقة من نفس العنصر (أو المركب) مثل السيليكو، فإن النظام يشار له بـ الوصلة المتجانسه (Homo junction).

أنه من الممكن كذلك للوصلة p-n أو (n-p) لتتكون من مادتين شبه موصلتين مختلفتين مثل كبريتيد الكادميوم (Cds) وسلفيد النحاسوز (Cu_2S)، هذا يعرف بالوصلة الغير متجانسة (Heter junction). الأداء العام عن الوصلة كما تم توضيحه سابقاً هو نفسه بصرف النظر عن النوع. وصلة شوتكى (Shottkey junction) [أى وصلة المجال المتسارع فى الابتعاد الترميونى - اليكترونيات] المتكونة من شبه موصل ومعدن، هذه الوصلة يتم تكوينها بترسيب طبقة صغيرة من الموصل المعدنى (مثل البلاتين) على شبه الموصل من النوع (n) أو النوع (p). الخلايا الفوتوفولتية بوصلة شوتكى المصنعة من ما يسمى السيليكون الغير بللورى (Amorphous) تكون أكثر كفاءة مقارنة بالوصلة المتجانسة لخلايا (p-n) من نفس المادة. كذلك فإن تكلفتها أقل.

الشكل العادى للخلية الشمسية لعمل وصلة (p-n) لشبه الموصل موضح فى الشكل (15/8). وصلة المواد من النوع (p) والنوع (n) توفر مجال كهربى الملازم والذى يفصل الشحنة الناتجة بامتصاص ضوء الشمس.

الوصلة (p-n) هذه يتم الحصول عليها عادة بوضع معدن الأساس النوع (p) فى فرن تسرب المحتوى على المعالجة (Dopan) مثل الفوسفور فى السبيكه (Alloying)

والسماح بالمعالجة (n) (n-Dopan) للتسرب نحو السطح حوالى 0.2 ميكرومتر (0.2µm). الوصلة لذلك تتكون أسفل مستوى سطح الخلية والضوء يصطدم عمودياً نحو الوصلة. الشحنات الموجبة والسالبة الناتجة عن امتصاص الكم الضوئى تكون لذلك متحمسه للتحرك نحو الأمام والخلف للخلية الشمسية. الخلف يكون مغطى تماماً بالتوصيل المعدنى لإزالة الشحنات إلى الحمل الكهربى. جمع الشحنات من أمام الخلية يتم تعزيزه بواسطة شبكة رقيقة ذات الأصابع المعدنية الضيقة. تغطية السطح للمجمعات الموصلة (Conducting collectors) هى حوالى 5% للسماح بأكثر مما يمكن من الضوء للوصول إلى مساحة الوصلة النشطة. الطلاء المضاد للانعكاس يتم استخدامه على قمة الخلية.الشكل (9/15) يبين كيف أن تلك الوصلة (P-n) توفر مجال كهربى الذى يدفع (Sweeps) الاليكترونات فى اتجاه واحد والثقوب الموجبة فى الآخر.



شكل (9/15)

إذا كانت الوصلة فى حالة إتزان حرارى ديناميكى، عندئذ، فإن طاقة فيرمى يجب أن تكون متجانسة تماماً. نظراً لأن مستوى فيرمى يكون قريباً من قمة الفجوة (Gap) لمادة (n) المعالجة وقريباً من قاع جانب المعالج (p)، فإنه يجب وجود مجال كهربى عند الوصلة على شريطه أن فصل الشحنة دلالة الخلية. الخاصية الهامة لمستوى فيرمى هو أن، فى الاتزان الحرارى الديناميكى، يكون مستمراً دائماً عبر الاتصال بين المادتين.

كل من الخلايا الشمسية المستقلة سوف ينتج طاقة عند حوالى 0.5 فولت مع التيار الذى يتناسب مباشرة مع مساحات الخلية. الخلايا المنفصلة يتم توصيلها على التوالى-التوازى فى مجموعة لمقابلة متطلبات فرق الجهد، الطاقة التى يعتمد عليها لاستخدام معين. الخلايا الفضائية يتم تغطيتها بواسطة غطاء منزلق شفاف لامتصاص الجسيمات عالية الطاقة فى الفضاء التى يمكن أن تحدث تلف فى الخلية وينتج عنه انخفاض للخرج. فى حالة الاستخدامات الأرضية إطارات الخلايا الشمسية يجب أن يتم تغليفها لحمايتها من التلف الجوى بسبب أكسدة اتصالات المعدن، والذى سوف يسبب التقشر

ومادة الدوائر المفتوحة مثل الزجاج، الأكليرك، المستخدمة لتوفير غطاء صافى للأطر (panels).

خـرج الطاقـة وكفـاءة التحويـل : Power output and conversion Efficiency:

الخلية الشمسية عادة تستخدم الوصلة (p-n)، شكلها الطبيعى موضح فى الشكل (6/15). العلاقة بين التيار وفرق الجهد طبقاً للمعادلة

$J_i = J_o [E_{xp} (V_e /KT) - 1]$

حيث:

V = فرق الجهد خلال الوصلة

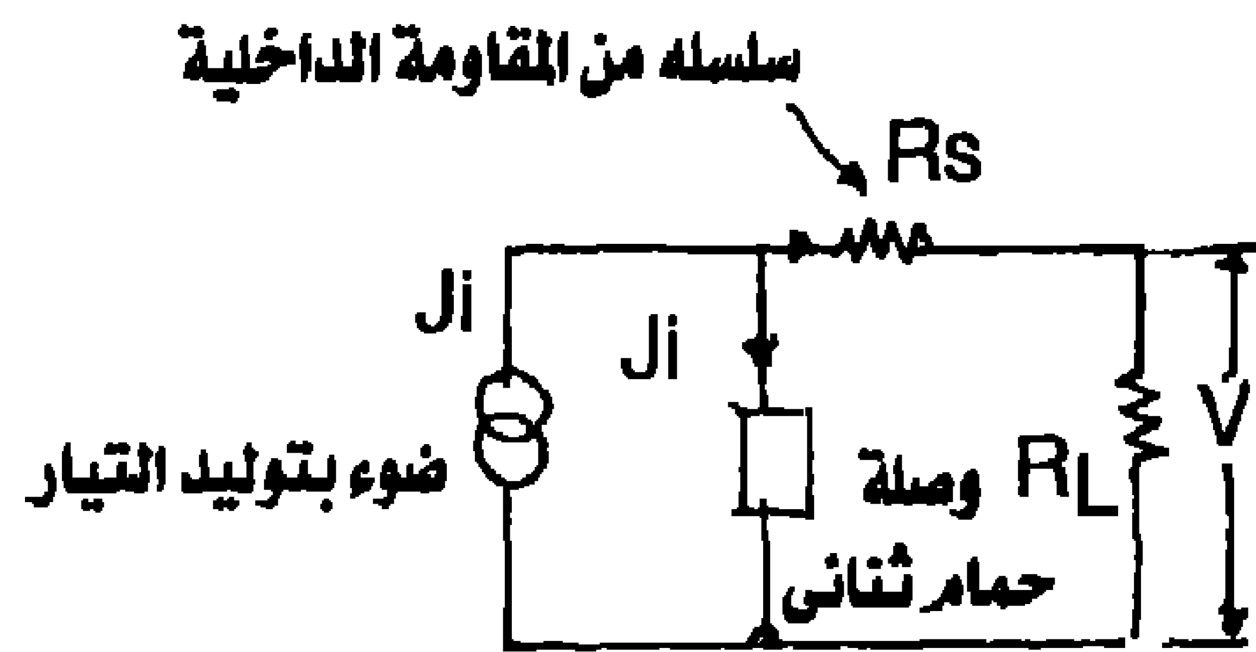
E = الشحنة الإليكترونية

K = ثابت بولتزمان

T = درجة الحرارة المطلقة

To = تيار التشبع ويسمى كذلك التيار الأسود (Dark current) ويـتم الحـصول عليه عند استخدام فرق جهد سلبى عالى خلال صمام ثنائى (Diode)

عند سقوط الضوء على الوصلة، يتم خلق زوج ثقب الإليكترون (Electron - hole pairs) عند معدل ثابت حيث يتوفر التدفق للتيار الكهربى عبر الوصلة. التيار النهائى يكون لذلك الفرق بين تيار الصمام العادى والتيار المولد بالضوء (J_L). الدائرة المبسطة المكافئة للخلية موضحة فى الشكل (10/15).

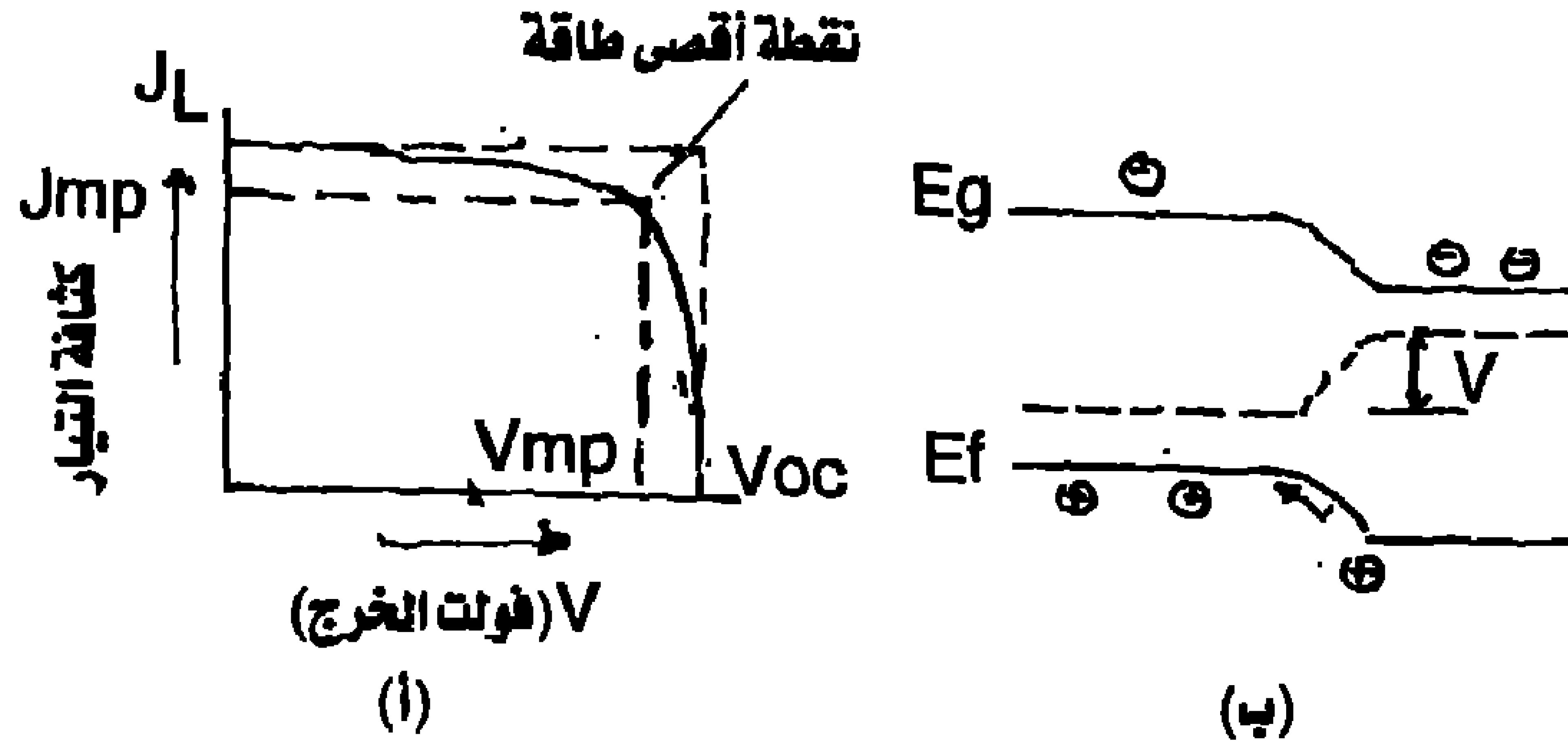


شكل (10/15) دائرة مكافئة للخلية الشمسية

المقاومة الداخلية على التوالى (Rs) تكون غالباً بسبب المقاومة العاليـة للـصفحة (Sheet) للطبقة المنتشرة التى تكون على التوالى مع الوصلة. تيار الضوء الناتج يعمل كمصدر ثابت للتيار لإمداد التيار إلى إما الوصلة أو حمل مفيد طبقاً لخواص الوصـلة وقيمة مقاومة الحمل الخارجى. التيار الصافى (J) يقدر طبقاً للمعادلة

$J = J_L - J_l = J_L - J_o [E_{xp} [(V + J_{Rs}) e/KT] -1]$

الهبوط فى الجهد الداخلى للخلية يمكن خفضه عادة وبالنسبة للخلية المثاليـة (Rs) يمكن افتراض أنه يساوى صفر. بالنسبة لتلك القيم المقابلة توقيع J-V يكون طبقا للشكل (11/15).



شكل (11/15) منحنى J-v لخليه شمسية قياسية

جهد الدائرة المفتوحة Voc للخلية المثالية يكون طبقاً للمعادلة

$V_{oc} = (KT/e) \ln [(J_L/J_o) + 1]$

$\Theta\ J_L \ \phi\phi\ J_o$

فإن 1 فى المعادلة يمكن إهماله

عندئذ جهد الدائرة المفتوحة $Voc = \frac{KT}{e} In\left(\frac{J_L}{J_o}\right)$

عملياً جهد الدائرة المفتوحة للخلية يقل مع زيادة درجة الحرارة

أقصى قوة يمكن استخلاصها من التجهيز تكون كالآتى:

$P_{max} = V_{mp} \times J_{mp}$

حيث:

V_{mp} , J_{mp} هما الفولت والتيار عند نقطة أقصى قوة (كما هو موضح فى الـشكل (11/15) على التوالى.

يمكن ملاحظة أن أقصى كفاءة للخلية يتم الحصول عليها بقسمة V_{mp} , J_{mp} علـى إجمالى قوة كثافة ضوء الشمس (Psun).

لذلك

$\frac{VmpJmp}{Psun}$ كفاءة الخلية

$= (J_L E_g / eP_{sun}) (J_{mp} V_{mp} / J_L V_{oc}) (eV_{oc} / E_g)$

معامل الجهد معامل الملئ

معامل الملئ (Fill factor) للخلية الشمسية يعرف بأنه النسبة لمساحتين كالآتى:

$$\frac{P\max}{J_L x Voc} = \frac{JmpxVmp}{J_L x Voc} = F.F$$ معامل الملئ

مصمموا الخلايا الشمسية، يجاهدوا نحو زيادة قيم معامل الملئ لخفض الفقد الداخلى.

أقصى قوة يمكن تعريفها بالنسبة لـ J_L , V_{oc} وتعطى بالمعادلة التالية

$P_{max} = J_L \times V_{oc} \times F.F$

معامل الملئ يستخدم لقياس كيفية عمل الوصلة جيداً وكيفية عمل المقاومة على التوالى منخفضة. القيمة المثالية لمعامل الملئ لخلية السيليكون الجيدة هو حوالى 0.08 معامل الفولت يتم تحديده بالخواص الأساسية للمواد فى الخلية وهو يكون مثالياً عند حوالى 0.5 لخلية السيليكون.

لكل من الأسباب النظرية والعملية، فإنه ليس كل طاقة الإشعاع الشمسى الساقطة على الخلية الشمسية يمكن أن تتحول إلى طاقة كهربية.

الكم الضوئى (الفوتونات) الضعيفة، منخفضة التردد (طول موجة طويل) ليس لديها طاقة كافية لإزاحة الإليكترونات. الفوتونات القوية، عالية التردد (طول موجة قصير) تكون عالية القوة، ورغم أنها تزيح الإليكترونات، فإن بعضاً من طاقتها يترك بدون استخدام.

تعرف الكفاءة بأنها نسبة الخرج من الطاقة الكهربية للخلية أو النموذج أو المصفوفة إلى محتوى الطاقة لضوء الشمس فوق سطحه المعرض. لذلك فإن الكفاءة للنموذج أو المصفوفة يكون أقل عن ذلك للخلايا بسبب المسافات بين الخلايا. الجزء للخلية إلى المساحات الكلية يسمى معامل الحشو أو التعبئة (Packing factor). مقدار معين من الطاقة يكون مطلوباً لإنتاج إليكترون حر وثقب فى مادة شبه الموصل. فى السيليكون كمثال، أدنى طاقة هى 1.1 فولتات إليكترون (1.1 Electron volts) وهذه تكون متاحة فى الإشعاع الذى له طول موجة 1.1 ميكرومتر أو أقل. لذلك فإن الأشعة تحت الحمراء ذات الموجة الطويلة ليس لها تأثير فوتوفولتى فى السيليكون ولكن يتم امتصاصها بنسبة كبيرة كحرارة. كذلك، حتى أن طاقة الإشعاع ذات طول موجة قصير لا يمكن

استخدامها كاملاً،الطاقة الزائدة لذلك تلزم لتحرير إليكترون مرتبط تتحول ببساطة إلى حرارة. للأسباب السابقة فقط حوالى 45% من الطاقة فى الإشعاع الشمسى عند مستوى سطح البحر يكون قادراً على إنتاج إليكترونات وثقوب فى السيليكون. ولكن، بسبب المقاوم، الكهربية لمادة شبه الموصل أى الفقد الكهربى ونماذج الفقد الأخرى كما فى حالة انعكاس جزء من الطاقة الشمسية ثانياً إلى السماء (الفقد بالانعكاس)، الامتصاص بواسطة الاسطح الغير فوتوفولتية، أو التحول إلى حرارة وإعادة الجمع لزوج الاليكترون الثقب، (العملية التى يتم تنشيطها بزيادة درجة الحرارة)، الكفاءة لحقيقية تكون أقل كثيراً. بالنسبة للنماذج والمصفوفات فإنه يوجد فقد إضافى الناتج عن عدم التطابق بين الخلايا المستقلة فى النموذج وبين النماذج فى المصفوفة. لذلك، فإن أفضل الخلايا ذات البللورة الواحدة تنتج كفاءات بحوالى 16-17%. الكتلة المنتجة للنماذج تنتج كفاءات نادراً ما تزيد عن 10%.

معظم الطاقة الشمسية التى تتحول إلى كهرباء فى الخلية الفوتوفولتية يتم امتصاصها كحرارة. فى الحالات التجارية، فإن خلية السيليكون ذات البللورة الواحدة ذات كفاءة تحويل حوالى12% ، فإن ما يزيد عن 80% من الطاقة الشمسية الساقطة تظهر كحرارة في الخلية. مع زيادة درجة الحرارة، فإن كفاءة وصلة خلية السيليكون n-p تنخفض، كثمال، بالنسبة للخلية التجارية فهى حوالى 8% عند 100^{o}م. الخلايا المصنوعة من (Gallium Arsenide) تكون متفوقة على خلايا السيليكون للعمل عند درجات الحرارةالمرتفعة، ارتفاع تكلفتها يمكن عندئذ تبريره عند الاستخدام مع مجمعات التركيز. كفاءة التحويل لخلية (Gallium arsenide) الشمسية العملية هو تقريباً 18% عند درجات الحرارة العالية، 16% عند 100^{o}م، 12% عند 200^{o}م. جاليوم أرزينايد يعتبر ماص جيد للإشعاع الشمسى ووصلة n-p يمكن عملها من طبقات رقيقة لمادة عديدة البللورات (Polycrystalline). كفاءة التحويل العالية بمجمعات التركيز تم إثباتها بالخلايا المصنوعة من مجموع كلاً من (Gallium aluminium)، و (Gallium arsenide). طرق زيادة كفاءة الخلية بجانب البحث لمواد أخرى تشمل:

التركيز، الفوتوفولتية الحرارية، ونظم التدرج (Cascade) المركزات (Concentrators) تحسن كفاءة الخلية. فهى تعرض الخلايا إلى ضوء الشمس المركز بوضعها عند بؤر القطع المكافئ (Foci of pavabola)، أو مركزات الحوض. أظهرت الأبحاث أن كفاءات الخلية حتى 25% يمكن تحقيقها بتركيز حوالى 500 إشماس (500 suns).

التركيز له ميزات أخرى: مع التحسن فى الكفاءة، فإنه يلزم لكل وحدة خرج خلايا قليلة، ومصفوفات قليلة، إنشاءات ومعدة تتبع، والتكلفة العالية تصبح ممكن احتمالها إلى

حد ما. المركزات، رغم ذلك، أكثر تكلفة عن المصفوفات الفوتوفولتية للوح المستوى، وهى مؤثرة فقط مع الإشعاع الشمسى المباشر، أى باستثناء معظم إشعاع التسرب وفقد حوالى 15% من ذلك الإشعاع فى مختلف الفقد البصرى. بالإضافة فإن درجات الحرارة العالية للخلية والتيارات العالية الناتجة من الفقد الكهربى العالى. المركزات، لذلك، تكون مكلفة فقط إذا كانت نتيجة التحسن فى كفاءة الخلية تظهر فى زيادة أداء تلك المنتجة من مصفوفات اللوح المستوى.

النظم الفوتوفولتية الحرارية: **(Thermo-Photo- voltaic systems)**

اعتبرت فى وقت ما أنها متضمنة استخدام الضوء عالى التركيز الذى يمتص بواسطة مادة حرارية التى تصبح ساخنة وتشع الطاقة الشمسية إلى خلايا السيليكون عند أطوال موجة أطول. أطوال الموجة هذه تتحول بكفاءة أكثر إلى الكهرباء بخلايا السيليكون. درجة الحرارة المطلوبة، هى القريبة من 1870 إلى 1920°م التى تسبب مشاكل حادة للمادة. يعتقد الآن أن النظم الحرارية الفولتية (Thermovoltaic) لا تحصل على كفاءات أعلا من النظم المركزة لإجازة درجات الحرارة المرتفعة هذه.

النظم المعاقبة أو المتوالية : **(Cascade systems)**

تلك النظم هى نظم عديدة الوصلات (Multi junction) التى فيها مختلف الخلايا تكون معرضة إلى مناطق مختلفة للطيف الشمسى التى عندها تعمل بكفاءة. مثل هذه النظم يعتقد أنها تنتج كفاءة تحويل حتى أعلا من 25%، ولكنها مازالت فى مرحلة التطوير.

خرج الطاقة (بالوات) لأى مولد كهربى، بما فيه الخلية الفوتوفولتية يساوى ناتج الفولت والتيار. نظرياً، خلية السيليكون الشمسية يكون لها فولت (1.1 فولت) من 1.1 إليكترون فولت الطاقة الإليكترونات الحرة المنتجة. عملياً، أقصى فولت هو حوالى 0.6 فولت ويحدث هذا على الخلية المفتوحة، حيث لا يتم إنتاج أى طاقة. أقصى طاقة لخلية السيليكون تحدث عند خرج فولت تقريباً 0.45 فولت. فى سطوع الشمس التام، التيار من الخلية التجارية يكون عندئذ حوالى 270 أمبير على المتر المربع من السطح المعرض. لذلك، الطاقة تكون حوالى الأتى 190 = 270 x 0.45 وات (0.12 كيلوات) على المتر المربع. المعدل الذى عنده تصل الطاقة الشمسية قمة الغلاف الجوى (أى ثابت الشمسى) هو 1.353 كيلوات لكل متر مربع (1353وات لكل متر مربع). جزء من هذه الطاقة ينعكس ثانياً إلى الفراغ، وجزء يتم امتصاصه بواسطة الغلاف الجوى. فى حالة ضوء الشمس الساطع، فإن الطاقة الشمسية قد تصل الأرض بمعدل تقريبى 1 كيلوات/ المتر المربع. نظراً لأن الطاقة الكهربية المولدة بواسطة خلية السيليكون

الشمسية التجارية هى 0.12 كيلوات/المتر المربع، فإن كفاءة التحويل لهذه الخلية تحديداً هى حوالى 12%.

الطاقة الكهربية من الخلية الفوتوفولتية تتناسب تقريباً مع المعدل الذى عنده تسقط الأشعة الشمسية على سطحها. لذلك، فإن خرج الخلية ذات مساحة معينة يمكن زيادته بجمعها مع مجمعات تركيز. المجمعات المتتبعة من نوع الخط البؤرى يمكنها توفير تركيز مضاعف عدة مئات. مع المركز ذو القطع المكافئ المركب (الغير بؤرى Non-focusing)، فإن معامل التركيز بحوالى عشرة يمكن بدون تتبع. نظراً لأن المجمعات البؤرية تركز الإشعاع الشمسى المباشر فقط (ولكن ليست الإشعاعات المنتشرة)، فإنها تكون مفيدة فى المناطق ذات الإشماس العالى. ولكن، هذا التحديد قد لا يكون قابل للتطبيق للمركز المركب بالقطع المكافئ نظراً لأنه يمكنه جمع الإشعاع المنتشر (المشتت).

حدود كفاءة الخلية الفوتوفولتية Limitations to PV cell Efficiency:

الخلايا الفوتوفولتية تكون محدودة الكفاءة بكثير من الفقد، بعض من هذه يمكن تجنبه ولكن البعض الآخر يكون ملتصق بالنظام. بعض الحدود يكون واضحاً ويمكن إحكامه، ولكن البعض الآخر يكون معقداً ولا يمكن إحكامه بدون إنتاج تأثيرات متعلقة. فمثلاً، زيادة تركيز عامل الاشابة (المعالجة الكيماوية Dopant) يمكن أن يكون له كلاً من التأثيرات الجيدة والضارة.

بعض الفقد التقليدى لوصلة الخلايا الشمسية Si , p-n سيتم توضيحها ولكن عندما تكون كل العوامل قد روعيت، فإن الاستراتيجية النهائية لأقصى إنتاج تجارى تزداد تعقيداً.

فى البنود التالية الفقد يكون كنسبة مئوية من إجمالى الإشعاع الشمسى الساقط. معاملات الكفاءة تشير إلى نسبة الاشماس المتبقى الذى يمتص عند تلك المرحلة فى التوليد الكهربى الفوتوفولتى.

1- إعاقة الالتصاق بقمة السطح (الفقد ~3%). التيار الكهربى يترك السطح العلوى بواسطة شبكة من الالتصاقات المعدنية منظمة لخفض الفقد المتتالى للمقاومة فى السطح. تلك الالتصاقات لها مساحة محصورة ولذلك فإنها تغطى جزء من السطح النشط. هذا الفقد ليس دائماً محسوباً فى حسابات الكفاءة.

2- الانعكاسية عند قمة سطح (الفقد ~ 1%). بدون احتياطات خاصة، الانعكاسية من شبه الموصلات تكون عالية 40% من الإشعاع الشمسى الساقط. لحسن

الحظ هذا يمكن أن يكون منخفضا إلى 3% أو أقل بواسطة طبقة سطح رقيقـــة أو معالجة أخرى.

عند اعتبار ثلاث مواد (هواء، غطـــاء، شـــبه موصـــل) لهـــم معامـــل انعكـــاس n_0 , n_1 , n_2. بالنسبة لمواد العزل الكهربى فإن الانعكاسية بين مجالين هى:

$$P_{ref} = \frac{(n_o - n_1)^2}{(n_o + n_1)^2}$$

بالنسبة للهواء (n_o =1) إلى البلاســتك (يمكـــن n_1 = 1.6) ، p = 5.3%. شـــبه الموصلات لهم معامل انعكاس ممثلاً بواسطة عدد معقد (نظراً لأنهم موصلين جزئيـــا) الذى يكون أحيانا مستقبلين بمتوسطات حوالى 3.5 فى المقدار خلال الطيـــف النـــشط. الانعكاسية فى الهواء تتغير من P_{ref} (1.1eV) = 34% إلى P_{ref} (5eV) = 54%.

الطبقة الرقيقة (السمك t) لمادة متوسطه بين الهواء وشبه الموصل.

الفصل السادس عشر

بعض من الطرق الأخرى
لاستخدام الطاقة الشمسية

سيتم وصف التطبيقات الآتية لاستخدام الطاقة الشمسية:

1- الأفران الشمسية.
2- المضخات الشمسية.
3- التقطير الشمسى.
4- الاستخدام الصناعى للطاقة الشمسية (التسخين)
5- الطهى الشمسى.
6- الصوبات الشمسية.
7- الإنتاج الشمسى للهيدروجين.
8- استخدام الطاقة الشمسية فى الفضاء.
9- التحويل الحرارى الكهربى.

1- الأفران الشمسية:

مقدمة :

الفرن الشمسى هو جهاز للحصول على درجات الحرارة العالية بتركيز الإشعاعات الشمسية على عينة. استخدمت الأفران الشمسية لمدة طويلة فى البحوث العلمية. العالم الفرنسى لافوازية استخدمها فى عام 1774 بعدسة فى طول الرجل، لعمل الدراسات الكيميائية عند درجات الحرارة المرتفعة. فى عام 1921 العالم الألمانى (Strauble) طور فرن شمسى مكون من مركز القطع المكافئ وعدسة. ثم بنى فرن آخر الذى استخدم فيه مركز القطع المكافئ، بفتحة 2 متر والبعد البؤرى 86 سم، حيث ثبت مواجها إلى أسفل وتم إرسال الإشعاع الشمسى إلى أعلا بواسطة الهيليوستات (مرايا متحركة). فى الولايات المتحدة فى عام 1951 تم إنشاء فرن باستخدام المركز من الألومنيوم، بفتحة 3 متر، وطول البعد البؤرى 86 سم. وفى فرنسا قام (Jrombe) ببناء فرن ضخم عام 1962 مكوناً من الهليوستات (الأداة التى تعكس أشعة الشمس فى اتجاه واحد) ومركز له محور بصرى أفقى، فتحة 10 متر وطول البعد البؤرى 6 متر. بعد ذلك تم بناء أفران ضخمة فى الجزائر، الولايات المتحدة، اليابان وفرنسا. أسس العالم الفرنسى (Tromble) فرن ضخم فى فرنسا عام 1973، للاستخدام الصناعى عند درجات الحرارة العالية.

الأفران الشمسية ذات أحكام بصرى عالى الدقة أعطت درجات حرارة تزيد عن 3000^{o}م. الميزة الرئيسية للفرن الشمسى تقع فى حقيقة أن التسخين يتم بدون أى تلوث ودرجة الحرارة يكون من السهل التحكم فيها بتغيير وضع المادة فى البؤرة. الفرن

الشمسى وسيلة ممتازة لدراسة خواص مواد السيراميك عند درجات الحرارة العالية أعلا من المجال الذى يتم قياسه عادة فى العمل باللهب وبالتيارات الكهربية. القياسات الطبيعية تشمل نقطة الانصهار، تغير المجال، الحرارة النوعية، التمدد الحرارى، التوصيل الحرارى، الحساسية المغناطيسية، والانبعاث الحرارى الأيونى (Thermoionic Emission). تم عمل العديد من العمليات الميتاليرجية والكيميائية المفيدة عند درجات الحرارة العالية فى الأفران الشمسية. انصهار وتلدين (Sintering) للسيراميك عند درجات الحرارة المرتفعة مثل الزركوينا يتم تنفيذه بسهولة. الإنتاج المباشر عند درجة الحرارة العالية للزركوينا من الزركون والقلوى، البيريليوم من بيريل والتنجستن من (Wolframite) يتم فى الأفران الشمسية. يتم كذلك تنقية حراريات (Al_2O_3) بالتطاير (Sublimation) عند درجة الحرارة العالية.

العناصر الرئيسية والشكل الهندسى للفرن الشمسى :

العناصر الرئيسية للفرن الشمسى هى المركز (Concentrator)، الهيليوستات (المتتبعة الشمسية – وهى مرآة دوارة تعكس أشعة الشمس فى اتجاه واحد) ونظام تتبع الشمس. الإشعاع الشمسى متوازى تقريباً حيث الزاوية المقابلة للشمس هى '32، وتستخدم مرآة القطع المكافئ المناسبة كمركز من نوع العاكس. الشكل الهندسى للقطع المكافئ يعرف بالفتحة (D) والبعد البؤرى (f). إجمالى الطاقة الشمسية الساقطة على مرآة هى ($1/2\pi D^2. HB$)، حيث HB هى كثافة الإشعاع الشمسى المباشر على الأرض، والذى له قيمة من 1.4 - 1.3 كالورى/المتر المربع فى الدقيقة أو -0.98) ($0.91 Kw/m^2$). لذلك، فإن الفتحة تحكم مدخل الطاقة للفرن الشمسى. حجم وكثافة صورة الشمس يتحدد بواسطة البعد البؤرى ونسبة الفتحة (F/D). مرآة القطع المكافئ من الضرورى أن يكون سطحها ناعم مع دقة الشكل الهندسى وقوة الانعكاس العالية. فى بعض الأفران من نوع السقوط المباشر، على مرآة الألومنيوم استخدمت لمنع الحادثة الناتجة عن إراقة المادة المنصهرة. ولكن، يكون من الصعب جداً الحصول على سطح ناعم بصرياً من المعادن الطرية بالحك والتلميع.

السطح البصرى الناعم يمكن الحصول عليه بسهولة باستخدام الزجاج. مرآة القطع المكافئ المعمولة بالحك والتلميع للزجاج باستخدام الطرق البصرية والذى تم معالجته بالألومنيوم أو بالفضة بالتبخير بالتفريغ لعمل سطح مرآة أمامى، يوفر مركز ممتاز، وقوة الانعكاسية هى حوالى 90 % للإشعاع الشمسى تكون متوقعة. عادة يتم تغطية السطح المعالج بالألومنيوم بطبقة حماية من (SiO_2) ولكن التغطية بطبقة رقيقة من البلاستك مؤثر كذلك.

تصنيع قطع مرآة القطع المكافئ للمركز كبير الحجم يمكن تنفيذه أيضا. من المهـم تقسيم المركز إلى عدد كبير من الأجزاء الصغيرة لخفض تأثير العيوب.

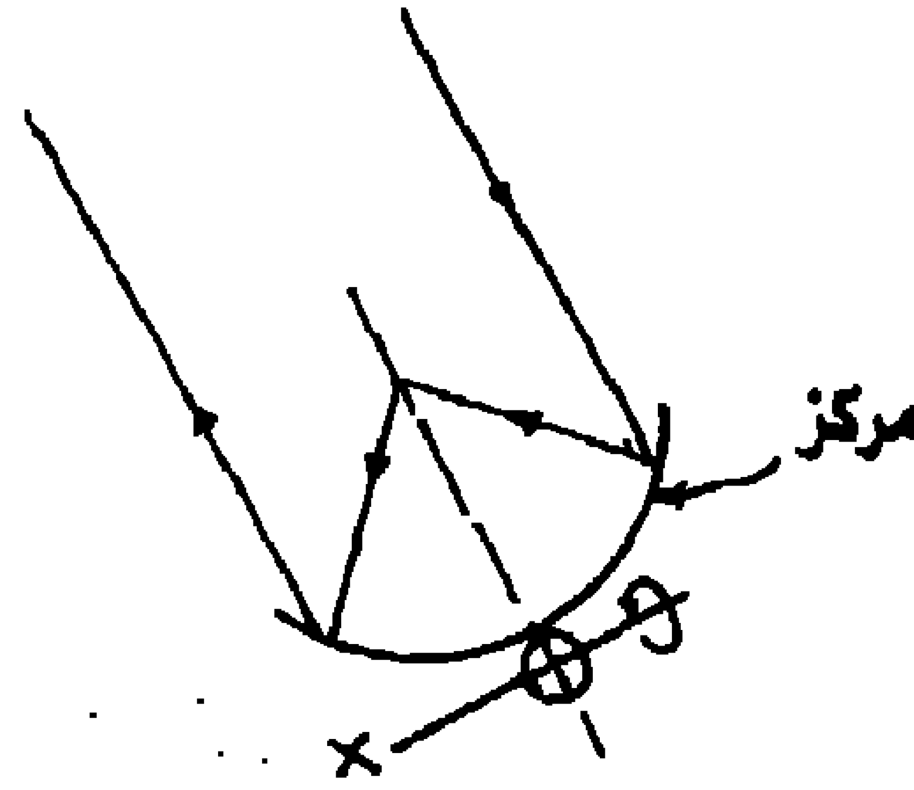
أنواع الأفران الشمسية :

يمكن تقسيم الأفران الشمسية إلى الأنواع الآتية:

(1) نوع التركيز المباشر.

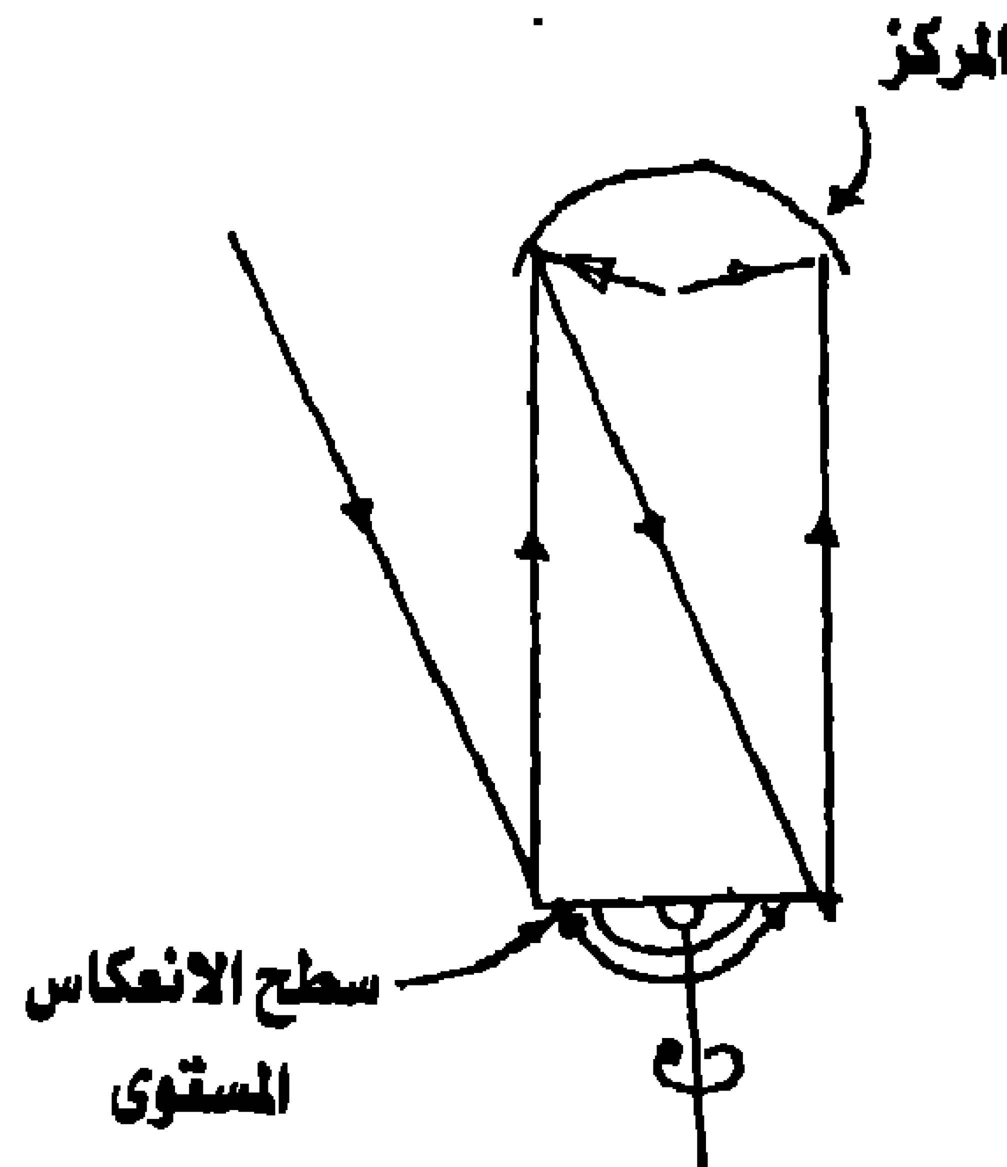
(2) نوع الهيليوستات (أداة عكس الشمس فى اتجاه واحد)

فى نوع الفرن بالسقوط المباشر يكون المركز نفسه متوجهاً نحو الشمس كما هـو موضح فى الشكل رقم (1)، بينما فى نوع الهليوستات يتم إرسال الإشعاع نحو مركـز ثابت بواسطة مرآة متحركة أو هليوستات كما هو موضح فى الشكل (1,2,3,4/16).



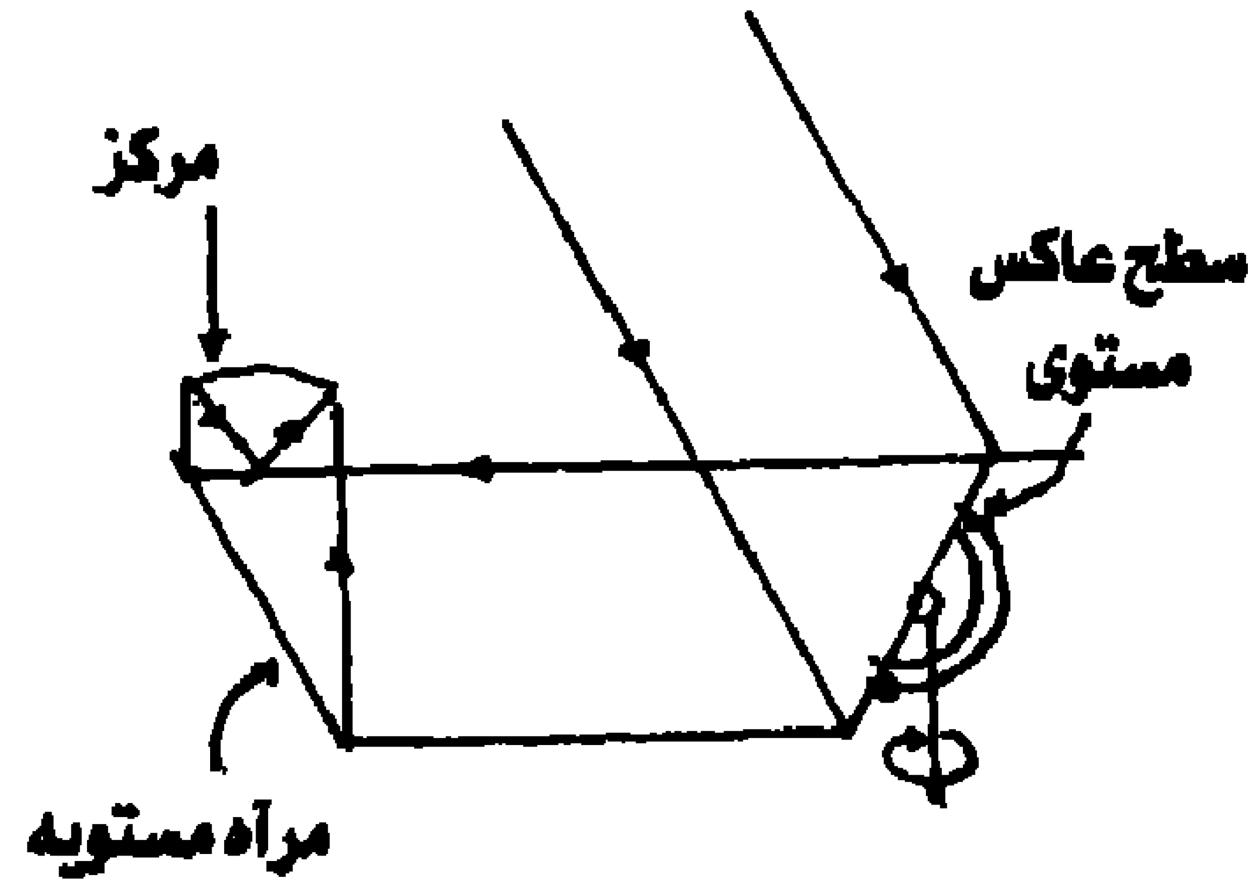
الشكل رقم (1/16) مخطط لفرن شمسى بالسقوط المباشر

المحور X يكون موازيا لمحور الأرض

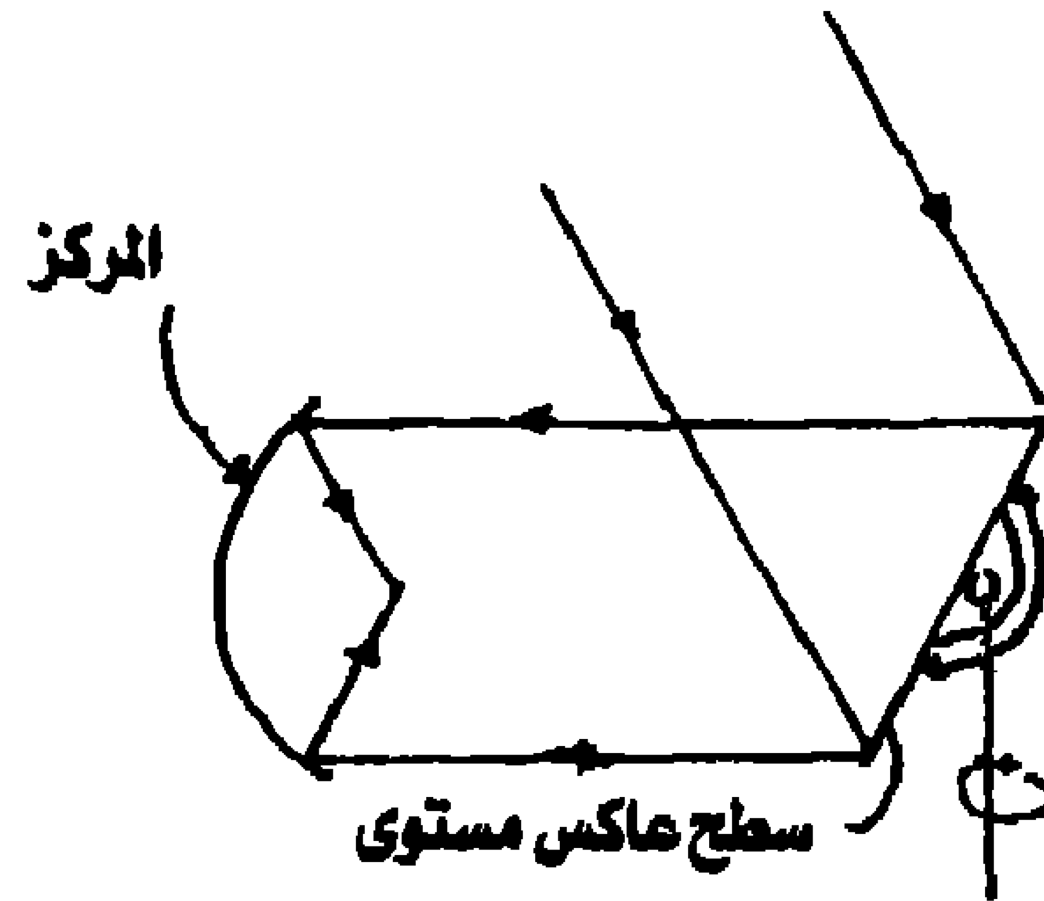


الشكل رقم (2/16) مخطط لفرن شمسى من نوع التتبع الشمسى

(محور بصرى عمودى)



الشكل رقم (3/16) مخطط لفرن شمسى من نوع التتبع الشمس واستخدام المرآه المستوية



الشكل رقم (4/16) مخطط لفرن شمسى من نوع التتبع بمحور أفقى بصرى

نوع السقوط المباشر (Direct incident) له ميزة أن فقد الانعكاس بالهيليوستات لا يتم إدخاله، ولكن توجد مخاطر فى أن المادة المنصهرة يمكن أن تندلق (Spill) خلال الإشعاع. الفرن من نوع هيليوستات بالمحور البصرى العمودى شكل (2) هو المناسب للانصهار، نظراً لأن الجزء الغير منصهر من المادة يكون بوتقة للإمساك بالجزءالمنصهر. مع زيادة الفتحة، فإن موضع شعاع المركز يكون مرتفعا جداً خاصة فىخط العرض المنخفض، لذلك فإن هذا النظام يكون من الصعب استخدامه فى الأفران الضخمة. كما هو موضح فى الشكل (3) فإن مشكلة الارتفاع يمكن حلها بإضافة مرآة مستوية أخرى. عيوب هذا النظام هى زيادة الفقد بالانعكاس. فى الشكل (4) مبين الفرن من نوع الهيليوستات مع المحور البصرى الأفقى والذى هو مناسب إلى حد ما ويستخدم على نطاق واسع فى الأفران الضخمة. أبعاد مرآة الهليوستات تكون تقريباً 1.4 القطر (1.4D). المرآة المرغوبة كثيراً هى التى يتم الحصول عليها بحك وتلميع لوح الزجاج إلى حالة الاستواء البصرى، ثم المعالجة بالألومنيوم أو الفضة باستخدام التبخير

بالتفريغ، والتبريد بطبقة مناسبة. تغير الارتفاع وذلك للسمت (Azimuth) يمكن الحصول عليه بتدوير الإطار حول المحور الأفقى وحول المحور الرأسي على التوالى. بهدف تدوير الإطار، يستخدم التشغيل الكهربى أو الهيدروليكى والذى يرتبط (Coupled) مع النظام المؤازر (Servo system) أو نظام الوقت لتتبع الشمس. الطريقة الأخرى هى باستخدام العديد من الهيليوستات لإرسال الشعاع الشمسى نحو المركز.

طرق تتبع الشمس : (Sun Tracking methods)

تستخدم طرق التتبع الشمسى الآتية للأفران الشمسية:

(1) نظام الوقت.

(2) النظام المؤازر (Servo)

(3) النظام اليدوى.

نظام الوقت لنوع الفرن بالسقوط المباشر يتم الحصول عليه بالركوبه الاستوائية (Equatorial Mounting) (حيث تبقى المقراب موجها إلى الجرم الفلكى) للمركز، كما هو موضح فى الشكل (1) التغير النهارى اليومى للاتجاه يتم بواسطة.تدوير المحور X بسرعة ثابتة الموازى ببساطة لمحور الأرض. التغير الموسمى يمكن ضبطه بتغيير الزاوية بين X والمحور البصرى للمركز، الذى يصبح مستطيل متعامد على فصول الربيع والخريف (Equinoxes).

النظام المؤازر (Servo system) هى طريقة كهربية ضوئية (Photo Electric) التى تستخدم لإيجاد الحيود للإشعاع الساقط على المركز. وهو يعمل بنظم التشغيل للارتفاع والسمت (Elevation , azimuth) لعود الإشعاع موازياً للمحور البصرى. لكشف الإشعاع يمكن استخدام الأنبوب البصرى، حيث يثبت مع محور موازى لذلك لوحدة التركيز، حيث توجد فتحة صغيرة عند أحد النهايات حيث خلالها يدخل شعاع من الإشعاع الشمسى. هذا الإشعاع الشمسى يتم سقوطه على أربع أنابيب ضوئية كهربية (4 Photo tubes) عند النهاية الأخرى للأنبوب. عند حدوث عدم اتزان للفولت بين الأنبوبين لأعلى ولأسفل، فإنه يؤثر تغير الارتفاع وذلك بين أنبوبين يميناً ويساراً، تغير السمت. طريقة أخرى تستخدم أربعة ترانزستورات ضوئية (Four photo transistors) لكشف الحيود حول صورة الشمس.

توقيع وإسقاط صورة الشمس مناسب جداً للعمل اليدوى الضرورى لصهر المنطقه والتقنيات الرقيقة الأخرى فى الانصهار.

استخدامات الفرن الشمسى:

الأفران الشمسية لها استخدامات فى المجالات الآتية:

1- الميتاليرجى :

أ- استخلاص المعادن والانصهار:

أن ندرة النوعية العالية ألجأت الحاجة نحـو تطـوير تلـك الـضعيفة فىمجـال الاستخلاص الميتاليرجى. الأفران الشمسية قد صارت مناسبة لتلك الأغراض بـسبب سرعة التسخين وانخفاض العزم الحرارى المصاحب لهم. فى محاولة، تم اسـتخلاص الموليدينوم فى شكل ثالث أكسيد الموليدينوم من الخام المحتوى علـى 60% كبريتـات الموليندبوم بعد المعالجة فى الفرن الشمسى.

الأفران الشمسية عالية الكفاءة يمكن استخدامها لمعالجـة كميـات ضـخمة مـن الخامات. لقد استخدم العالم الفرنسى (Trombe) الفرن الشمسى (1000Kw) فى فرنسا لتصنيع العديد من أطنان البوكسايت، وخليط الألومينا والزركوينا.

يوجد مجال متسع لاستخدام الفرن الشمسى فى عمليات الانـصهار (Smelting). نظام المستقبل المركزى الشمسى المزود بوحدة التركيز كان قد اقترح للاستفادة به فى صهر النحاس، الرصاص، الزنك، النيكل مع الاستخدام التالى فـى تطبيقـات صـهر الصلب.

ب- عملية الصهر والسباكة (Melting and casting):

استخدام الأفراد الشمسية لصهر وسبك المعادن والسبائك هو إمكانية محتملة. العديد من مثل تلك المحاولات تم عملها فى فرنسا. كذلك يمكن استخدام الفرن الشمسى لصهر المواد الحرارية.

جـ- المعالجة الحرارية:

استخدام الأفران الشمسية ذات الحرارة العالية القادرة على التسخين حتـى 1000^{o}م أو أكثر، ذو قيمة فى المعالجات الحرارية مثل تقسية الفرن للصلب والحديد.

د- التلبيد : Sintering

الأفران الشمسية مفيدة فى عمليات التلبيد. كذلك، فإن تلبيـد المركبـات الفيريـت الخصبة تم تحقيقه بنجاح. أنتج (Trombe) حراريات التلبيد فى الأفران الشمسية.

2- التخليق الكيمائى والمعدنى (Chemical and mineral synthesis)

الأفران الشمسية تمكن من الحصول على درجة حرارة عالية ولكن بدون تلـوث، لذلك فإن هذه الأفران كانت مفضلة عن الأفران المستخدمة للوقود التقليدى فى تجارب

الصناعات الكيميائية والمعدنية. لقد تمت تجارب عديدة فى هذا المجال وتم الحصول بنجاح على عناصر ومركبات وسبائك ..الخ.

3- نمو البللورة: (Crystal growth)

لقد ساعدت الأفران الشمسية بدرجة كبيرة فى تحضير العديد من البللورات الأحادية (Mono crystals). تلك الأفران تسهل مثل هذا النوع فى جو نظيف ومحكم. العديد من أنواع البللورات الواحدة قد تم نموه فى أفران الطرد المركزى الشمسية.

4- التفاعلات الكيميائية :

العديد من التفاعلات الكيمائية مثل التحلل الكيميائى (Decomposition) ، الأكسدة العكسية، التسامى (Sublimation)، التبخير، الصهر..الخ يمكن بنجاح عملة بواسطة الأفران الشمسية.

5- اختبار المواد : Material Testing

الأفران الشمسية لها علاقة هامة فى دراسة سلوك المواد المعرضة للنبضات الحرارية (Thermic Impulses) عند أى حالة عادية. تطوير المواد المناسبة القادرة على تحمل درجات الحرارة المرتفعة جداً والصدمات الحرارية لها أهمية عسكرية وعلمية كبيرة ولها استخدامات عاجلة فى مجالات مختلفة مثل الاستخدام فى المفاعلات الذرية، الطائرات، الصواريخ الموجهة.

خواص مواد السيراميك عند درجات الحرارة المرتفعة يمكن تقيمها جيداً بواسطة الفرن الشمسى.

الأفران الشمسية كانت مفيدة جداً فى اختبار وتعيين مقاومة الطلاءات المعدنية والطبقات المعدنية الرقيقة عند درجات الحرارة المرتفعة. مثل تلك الاختبارات تم أدائها بكثافة باستخدام الأفران الشمسية ذات الطاقات المختلفة.

6- تقييم الخواص (Properties assessment)

الأفران الشمسية تفوقت على المقاومة العادية للتسخين بالحث ذلك لأن أى صلب بصرف النظر عن خواصه الكهربية أو المغناطيسية يمكن تسخينه بدون تلوث إلى درجات حرارة مرتفعة جداً فى الفرن الشمسى. لذلك فإنه يمكن استخدامه كأداة جديدة يعتمد عليها لدراسة الخواص الطبيعية الحرارية عند درجات الحرارة العالية (Thermophysical properties) مثل التمدد الحرارية، التوصيل الحرارى والانتشار (Diffusivity) وامتصاص الطاقة الحرارية، قياس الحرارة النوعية، الخواص الكهربية والميكانيكية عند درجات الحرارة العالية.

7- خواص أخرى:

بخلاف ما سبق، فإن خواص معينة أخرى يمكن تقييمها باسخدام الأفران الشمسية. تعيين نقط الانصهار بكثير من الأكاسيد التى لم يسبق تسخينها ودراسة خواص النويات (Nucleating) للمواد. تعيين نقط التجمد لأكاسيد (Anthanide) ونقط تجمد للعديد من الأكاسيد الحرارية من المحلول الصلب السداسى (Y_2O_3-ZrO_2 -Ln_2O_3). كذلك دراسة التركيب الفراغى لمركب ($SrZrO_3$) المستخدم كمادة عزل/توصيل.

8- دراسة نظام المخطط : (Phase diagram studies)

مخططات المجال ذات درجة الحرارة العالية لكثير من نظم الأكاسيد خاصة تلك المحتوية على الذركونيا، الألومينا، (Lanthamide)، تم عملها بواسطة الأفران الشمسية.

9- الحرارى - الفوتوفولتى Thermo - Photovoltaics

فى الحرارى الفوتوفولتى يستخدم ضوء الشمس المركز من الأفران الشمسية لتسخين جيب جسم أسود "Black body" cavity الذى يعيد انبعاث إشعاع عند درجة حرارة أقل. الخلايا الشمسية المغمورة فى الجيب يمكنها امتصاص الوحدات الضوئية (Photons) ذات درجة الطاقة العالية الموجودة وتحويل تلك إلى طاقة كهربية عالية الكفاءة.

خواص الفرن الشمسى :

الفرن الشمسى هو جهاز فريد الذى له الصفات الآتية:

1- ينتج درجة حرارة مرتفعة جداً.
2- فيها التلوث بالتفاعل مع البوتقة لا يحدث عند الانصهار.
3- يوفر التسخين والتبريد السريع جداً.
4- قياسات مختلف الخواص ممكنة مع العينة المكشوفة.
5- التلوث بالأيونات لا يحدث فى الانصهار والذى يمكن أن يحدث فى حالة البلازما أو لهب الأكسى - هيدروجين.
6- يمكن توفير المناخ المطلوب المناسب للعينة.

سلبيات الفرن الشمسى:

1- استخدامه محدود فى الأيام المشمسة، ولمدة 4 ساعات فقط من 10 صباحا حتى 2 بعد الظهر للوصول إلى درجات الحرارة العالية.

2- التكلفة العالية للفرن الشمسى مازالت العائق نحو استخدامها الصناعى على نطاق واسع فى ظل الظروف الاقتصادية الحالية.

توجد استخدامات مستقبلية عديدة لإنتاج حامض النيتريك والأسمدة من الهواء، لإعطاء مثال لما هو متوقع. فى نفس الوقت الجهد الكبير فى أبحاث الفضاء قد عجل بدرجة كبيرة تطوير أجهزة المجمعات البؤرية الكبيرة ذات الوزن الخفيف لإنتاج درجات حرارة عالية فى الفضاء الخارجي.

الضخ الشمسى : (Solar pumping)

مقدمة :

يتكون الضخ الشمسى من استخدام القوة الناتجة من الطاقة الشمسية لضخ المياه المستخدمة فى الرى.

الطاقة الشمسية توفر عدد من الظواهر التى تجعل من استخدامها فى الضخ للرى من الأمور المقبولة. أولا، الحاجة الكبيرة للضخ تحدث خلال شهور الصيف حيث يكون الإشعاع الشمسى عند أقصاه. ثانيا، الضخ يمكن أن يكون متقطعا إلى حد ما. خلال فترات ضعف الإشعاع الشمسى وعند انخفاض الضخ، فإن الفقد بالتبخير من المحاصيل يكون ضعيفاً كذلك. أخيراً، يمكن توفير تخزين الضخ الغير مكلف نسبيا فى شكل برك.

يوجد عدد من الطلمبات التى أنشئت حديثاً للضخ للرى والتى تعمل الآن. العقبة الرئيسية نحو زيادة استخدام نظام الرى بالضخ هو التكلفة العالية نسبيًا. ولكن مع زيادة أسعار زيت البترول يمكن أن يكون استخدامها اقتصادياً. محرك البخار الذى يعمل بالطاقة الشمسية استخدم عام 1875 لضخ المياه بواسطة الفرنسى (Mouchot). كما أنشأ ويليام أدمز مضخة شمسية فى بومباى فى عام 1876. أكبر محطة ضخ بالطاقة الشمسية عرفت كانت بواسطة (Shuman Boys) فى عام 1913 فى المعادى وهى أحد ضواحى مصر. حيث استخدم المجمعات من نوع القطع المكافئ مع خمسة من المركزات لضوء الشمس. استخدم خمسة من أحواض القطع المكافئ 4.06 متر اتساع عن القمة، 62.2 متر طول، حيث إجمالى مساحة المجمع كانت 1263متر مربع. كانت الغلايات موضوعة على الخط البؤرى – ماصات الحرارة كانت موضوعة بفاصل حوالى 7.6متر لتجنب تبادل التظليل. المجمعات كانت موضوعة فى توجيه شمال جنوب مع الدوران من الشرق إلى الغرب. كانت المرايا موضوعة فى إطار من الصلب الخفيف. كان لمحطة طلمبات المعادى طاقة 37 كيلوات وكفاءة حرارية كلية 4.32 % فقط.

مكونات النظام :

النظام الأساسى يتكون من المكونات الآتية:

1- المجمعات الشمسية التى يمكن أن تكون:

أ- مجمعات اللوح المستوى.

ب- المركزات الثابتة.

جـ- مركزات تتبع الشمس - الهيليوستات.

2- نظام انتقال الحرارة.

3- غلاية.

4- الحرارة، المحرك، يمكن أن يكون

أ- محركات رانكين والتى يمكن أن تكون إما محركـات ترددية أو بتـربين البخار.

ب- محركات الغاز الساخن (Stirling)

جـ- تربين الغاز بدورة برايتون.

د- محرك المكبس الدوار.

5- المكثف

6- الطلمبة والتى يمكن أن تكون

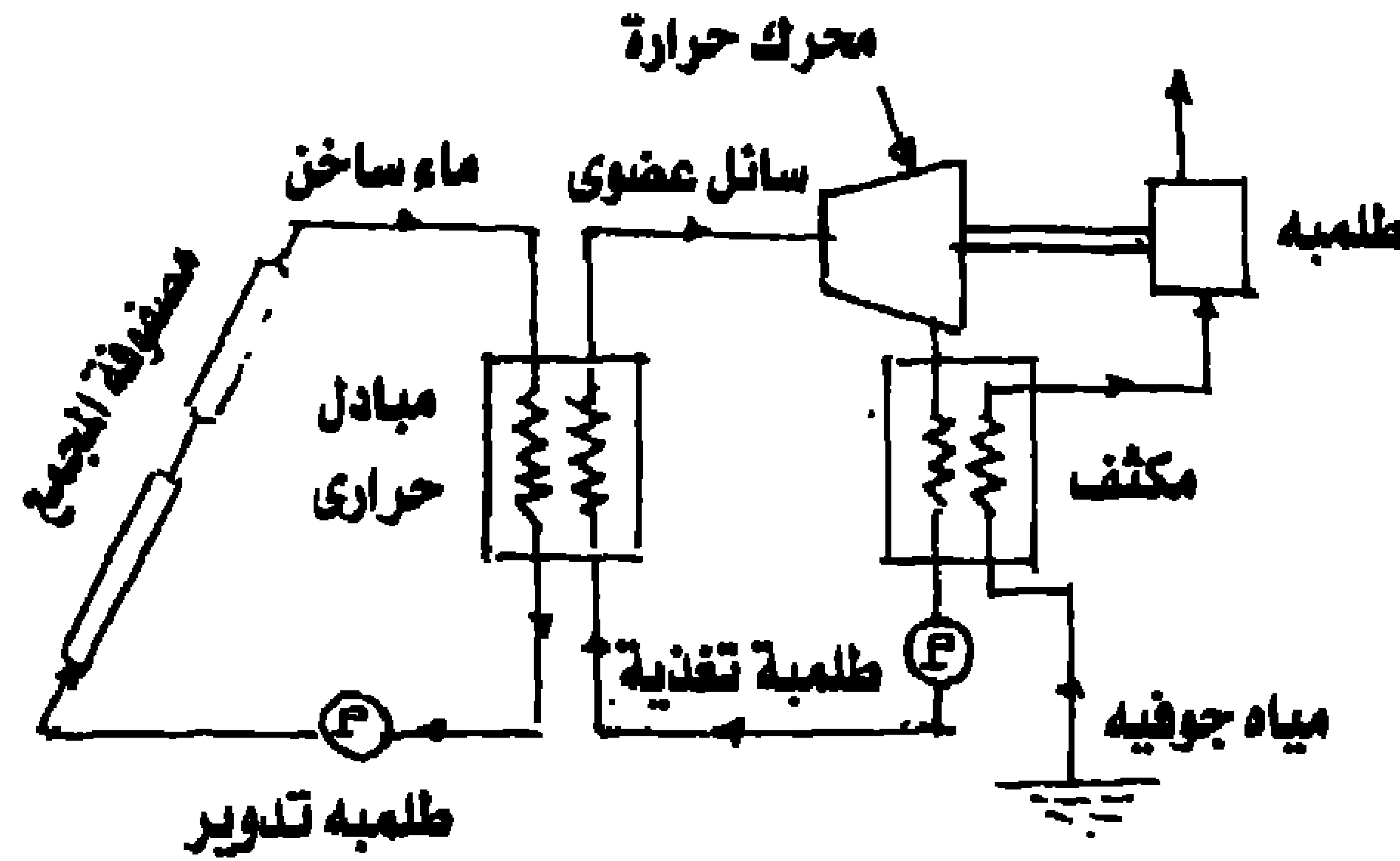
أ- طلمبة ترددية.

ب- طلمبة طرد مركزى.

جـ- طلمبة.

د- طلمبة دوارة.

الطلمبة الشمسية لا تختلف كثيراً عن محرك الحرارة الشمسية الذى يعمل فى دورة درجة الحرارة المنخفضة. مصدر الحرارة هو المجمع الشمسى، والانخفـاض (Sink) هو الماء المطلوب ضخه. نموذج لنظام ضخ المياه بالطاقة الشمسية موضح فى الشكل رقم (5/16).



شكل (5/16) مخطط للطلمبه الشمسية

المكونات الأولية للنظام هى مصفوفة من المجمعات ذات السطح المستوى ومحرك (Rankine) مع مائع عضوى كمادة تشغيل. أثناء العمل مائع الانتقال الحرارى (الماء المضغوط) يتدفق خلال مصفوفات المجمع. طبقاً لشكل المجمع، كثافة الشمس وظروف العمل للمحرك، فإن السائل يتم تسخينه فى المجمع إلى درجة حرارة أعلا. المائع (الماء) يتدفق نحو مبادل حرارى (الغلاية)، بسبب التدرج فى درجة الحرارة، ثم يعود ثانياً إلى المجمع (Collector). هذا الماء ينتج حرارته فى المائع الوسيط فى الغلاية. هذا المائع يتبخر ويتمدد فى المحرك قبل الوصول إلى المكثف، حيث يتكثف عند ضغط منخفض. المكثف يتم تبريده بالماء المطلوب ضخه. المائع عندئذ يتم إعادة حقنة فى الغلاية لقفل الدورة. محرك التمدد لمحرك رانكين يتم توصيله (Coupled) مع الطلمبة ويمكن بطبيعة الحال توصيله بمولد كهربى.

مساحة المجمع تتحدد إلى حد كبير بواسطة الكفاءة الكلية للنظام (η_o).

$$\eta_o = \eta_e \times \eta_c$$

حيث:

η_e = كفاءة المحرك

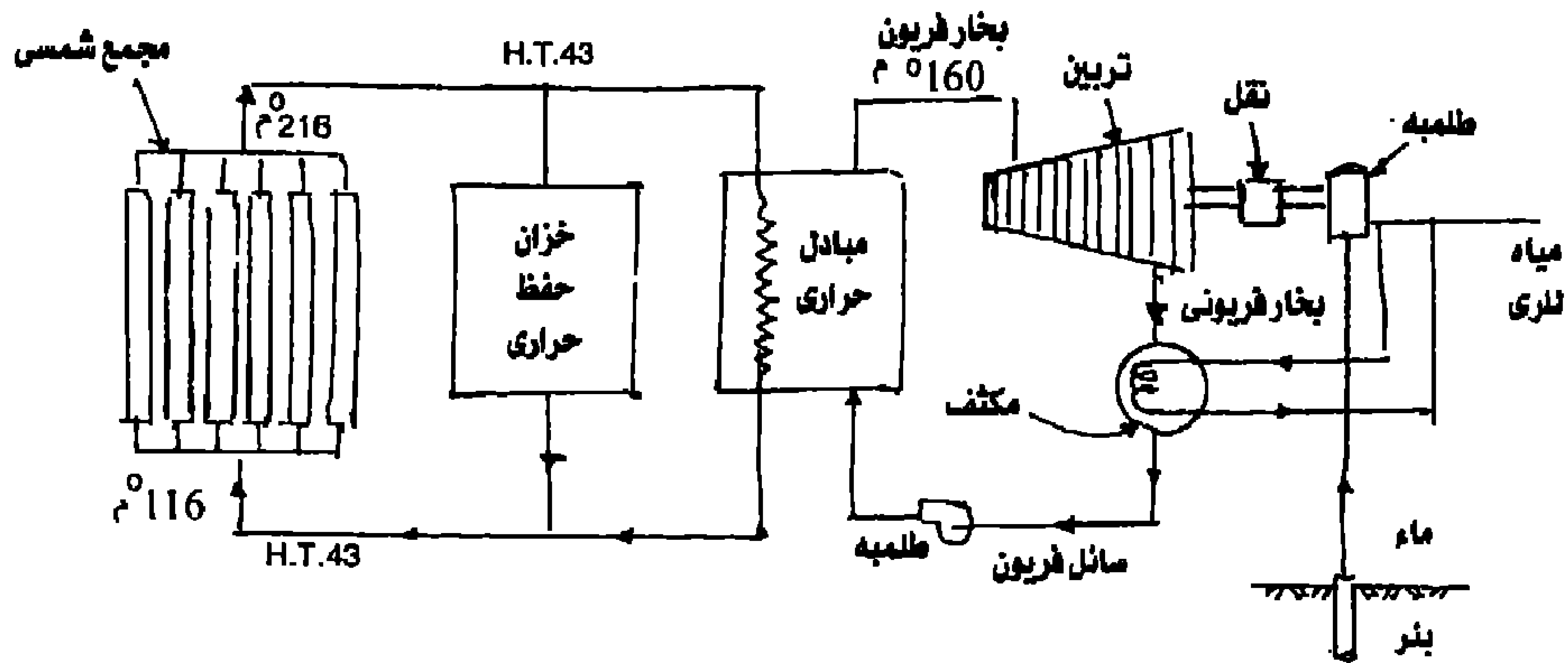
η_c = كفاءة المجمعات

لدرجة حرارة أعلا فى الغلاية، نتائج فى زيادة كفاءة المحرك، ولكن درجة حرارة أعلا عند الغلاية تتطلب زيادة درجة حرارة المجمع، والتى تقلل كفاءة المجمع. لذلك يوجد، أقصى مجال لدرجات حرارة التشغيل لنظام الضخ الشمسى الذى ينتج عنه أقصى كفاءة للنظام.

الموائع المستخدمة فى الدورة هـى Monochlorobenzene, toulune (CP-25), R-113 , pyridine , Refregirant-11 , Refregirant 113 , Thiophene وهو المفضل بسبب الكفاءة العالية للدورة، عدم السمية وقلة التكلفة.

الخطوط العامة المبسطة لنظام المضخة تعمل بالتربين باستخدام الطاقة الشمسية موضح فى الشكل (6/16). فى نظام معين، مائع الانتقال الحرارى وهو (Exxan caloria (HT-43) يتم تسخينه إلى 216° فى مجمعات حوض القطع المكافئ ذو الفتحة الكلية 624 متر مربع. جزء من المائع الساخن يتم تخزينه للاستخدام عند عدم سطوع الشمس. مائع تشغيل التربين (Freon type R-113) يترك الغلاية ويدخل التربين فى شكل بخار عند درجة حرارة 160°م وضغط 15 جوى. بعد التمدد فى التربين، يترك البخار عند 93°م، وضغط 0.7 جوى، ويتحرك ثانياً إلى السائل فى المكثف ويعود إلى الغلاية.

طلمبة الرى تعمل عند طاقة 19 كيلوات (25 حصان) وتضخ الماء بمعدل 500 إلى 600 جالون فى الدقيقة (32 إلى 38 لتر/ثانية) من عمق حوالى 30متر. كفاءة الطاقة (أى نسبة الطاقة الشمسية المجمعة التى تتحول إلى شغل مفيد هى 13 إلى 14%، هذه القيمة المنخفضة تكون إلى حد كبير نتيجة درجة الحرارة المنخفضة لمائع التشغيل الذى يدخل التربين. كفاءة (Rankine) ستكون خلال حدود مقبولة، إذا كانت درجة الحرارة ما بين 200 على 400°م يتم الحصول عليها باستخدام نظام مجمع بؤرى مناسب.



شكل (6/16) مخطط لطلمبة تدار بالتربين باستخدام الطاقة الشمسية

بدائل التصميم : **(Design Options)**

أ- اختيار المجمع الشمسى: Choice of the solar collector

مجمعات اللوح المستوى رخيصة التكلفة، ولكنها من العيب الأساسى الذى هو أن كفاءة المجمع تنخفض سريعاً مع زيادة درجة الحرارة. كذلك طاقة الإشعاع الشمسى

(Insolation) لتلك المجمعات والتى تكون مائلة ولكن المستقرة تتغير طبقاً لساعة النهار. أقصى درجة حرارة لسائل التدوير للتصميم البسيط للمجمع هو من 60 إلى 80°م. حدود درجة الحرارة هذه بالنسبة لمحرك رانكين بسبب الانخفاض الشديد للنظام، كذلك فإن المائع ذو درجة الغليان المنخفضة يكون مطلوباً مثل الفريون، والذى يحتاج إلى مبادلات حرارية مكلفة ومحركات وتربينات غير تقليدية.

المجمعات الشمسية من نوع التركيز تتكون من أحواض القطع المكافئ، عدسات (Fresnel) أو الدوران بالقطع المكافئ. يتم تركيز الإشعاعات الشمسية على أنبوب المص المركب على البؤرة، ويتم الحصول على درجة حرارة ما بين 200 إلى 400°م. كفاءة (Rankine) التى يتم الحصول عليها تكون فى خلال الحدود المقبولة.

المجمعات البؤرية (Focusing collectors) تتطلب أنبوب ماص موضع على الخط البؤرى للمجمع. المتاح نوعين مختلفين، حلقة المائع (Fluid loop)، ذات التدوير المستمر لمائع التشغيل خلال الأنبوب الماص المزود بطلمبة، وماسورة السخونة (Heat pipe) المكونة من أنبوب معزول محكم الإغلاق المملوء بكمية صغيرة من المائع المناسب. أحد نهايات ماسورة السخونة تلتصق وحدة الغلاية وتسلم الحرارة الممتصة إلى مائع التشغيل، فى الغلاية. لا تكون هناك حاجة لقوة خارجية للتدوير.

ب- اختيار محركات الحرارة (نظم الطاقة)

Choice of the heat engines (power systems):

عموماً محركات الحرارة تستخدم لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة ميكانيكية لتشغيل الطلمبات الشمسية. يمكن اختيار أنواع أساسية عديدة من نظم الطاقة، أو دورات التشغيل لتحويل الطاقة الحرارية من المجمعات الشمسية إلى طاقة عامود إدارة مفيدة. نظراً لأن مستويات درجة الحرارة المستخدمة عادة فى نظم الطاقة الشمسية، كمثال 25 إلى 300°م فإن دورة رانكين عادة متفوقة على الدورات الأخرى بالنسبة لإجمالى كفاءة الدورة وأحجام المكونات. لذلك، فإنها الأكثر استخداماً فى نظم الطاقة الشمسية. دورة (Brayton) تستخدم عادة عند إمكان الحصول على درجات حرارة أعلا. نظام الطاقة هذا يمكن أن يكون إما نظام مفتوح أو نظام مغلق. النظام المغلق يمكنه استخدام موائع تشغيل بخلاف الهواء عند الحاجة. التربين المزدوج (Dual Turbine) يمكن كذلك استخدامه لتحسين الكفاءة الكلية للدورة، حيث التربين الأول يقوم بتشغيل الضاغط، والثانى (منفصل) لتوفير خرج الطاقة لعامود الإدارة. دورة (Stirling) يمكنها الحصول على كفاءة دورة كلية عالية، ولكن أصبحت محدودة لخرج صغير فى التطبيقات الشمسية. مساحات المبادل الحرارى الكبيرة نسبياً تكون مطلوبة، مع درجات حرارة وضغط مرتفع للغاز.

جـ- نظام التخزين:

عندما يكون معدل السحب من آبار الرى محدوداً، أو عندما يكون فترة الضخ اليومى يجب أن تزيد عن 6 - 10 ساعة عن نظم الضخ الشمسى، فإنه يلزم التخزين. تخزين المياه يتم تنفيذه بسهولة. وهو يشمل ضخ المياه الزائدة خلال اليوم للتخزين فى خزان علوى أو حوض مرتفع ثم الصرف بعد ذلك فى الحقل بالتدفق بالجاذبية. مثل هذه النظم يمكن تصميمها لفترة صغيرة (1-3 يوم) أو لفترة طويلة (تخزين موسمى).

الخزانات تكون مفضلة عموماً فى حالة التخزين لفترة قصيرة حيث البرك يكون إنشاءها غير اقتصادى بالإضافة إلى فقد المياه بالتسرب والبخر. البرك تكون مناسبة فى حالة تخزين مياه الضخ لمدة طويلة بسبب الحجم الكبير المطلوب. عند استخدام البرك يمكن خفض التسرب الأرضى بدمج سطح القاع وتغطيته بطفلة البنتونايت، البولى إيثيلين أو المطاط. يمكن خفض البخر من البرك بطفو غطاء أسود من مادة مقاومة للحرارة على سطح البرك.

نظام تخزين الطاقة يستخدم عندما يكون معدل سحب المياه للرى من الآبار محدوداً. النظم المستخدمة للمجمعات الفوتوفولتية هى تلك المستخدمة فى المولد الكهربى/المحرك الكهربى للتشغيل بين وحدة الطاقة الشمسية وتشغيل الطلمبة حيث يمكن استخدام البطاريات للتخزين. ولكن، نظم كفاءة تخزين البطارية منخفضة نسبياً. حوالى 40% من الطاقة المنتجة بنظام الطاقة الشمسية يمكن أن يفقد عند المولد، البطارية، والمحرك الكهربى.

طرق أخرى لإمتداد العمل اليومى لنظام الطاقة هو بعض تخزين الطاقة الحرارية ما بين المجمع ووحدات الطاقة. يمكن تخزين الطاقة الحرارية كحرارة محسوسة، وكحرارة كامنة مع مادة تغير المجال، أو كمجموع لكلا الاثنين.

التقطير الشمسى : Solar Distillation

تقطير الماء المالح لإنتاج مياه الشرب يتم بتعريض طبقة صغيرة من الماء المالح (عادة فى صوانى ضحلة سوداء أو أحواض) للإشعاع الشمسى، وتكثيف بخار الماء الناتج على غطاء شفاف بالطريقة التى تمكن من جمعه فى أحواض الاستقبال.

المقطرات الشمسية المستخدمة حالياً تشمل حوالى 20 من نوع – الحوض ذو سعات تتراوح ما بين 400 إلى 25000 لتر فى اليوم وعدد غير معلوم من الوحدات الأصغر.

نظرية ووصف للمقطر الشمسى من نوع - الحوض:

تم اقتراح أسلوبين أساسيين لاستخدام الطاقة الشمسية لتقطير الماء المالح. أحد الطرق على نطاق صغير يستعيد الماء النقى من الدورة الهيدرولوجية والأخرى تستخدم الطاقة لتنشيط المقطرات القادرة على العمل على أنواع أخرى من الطاقة.

الدورة الهيدرولوجية التى يتم منها إنتاج الماء النقى، تكون بطاقة كبيرة، ولها أربع مجالات أساسية.

1- إنتاج البخار من المحيطات، البحيرات والمسطحات المائية الكبيرة الأخرى.

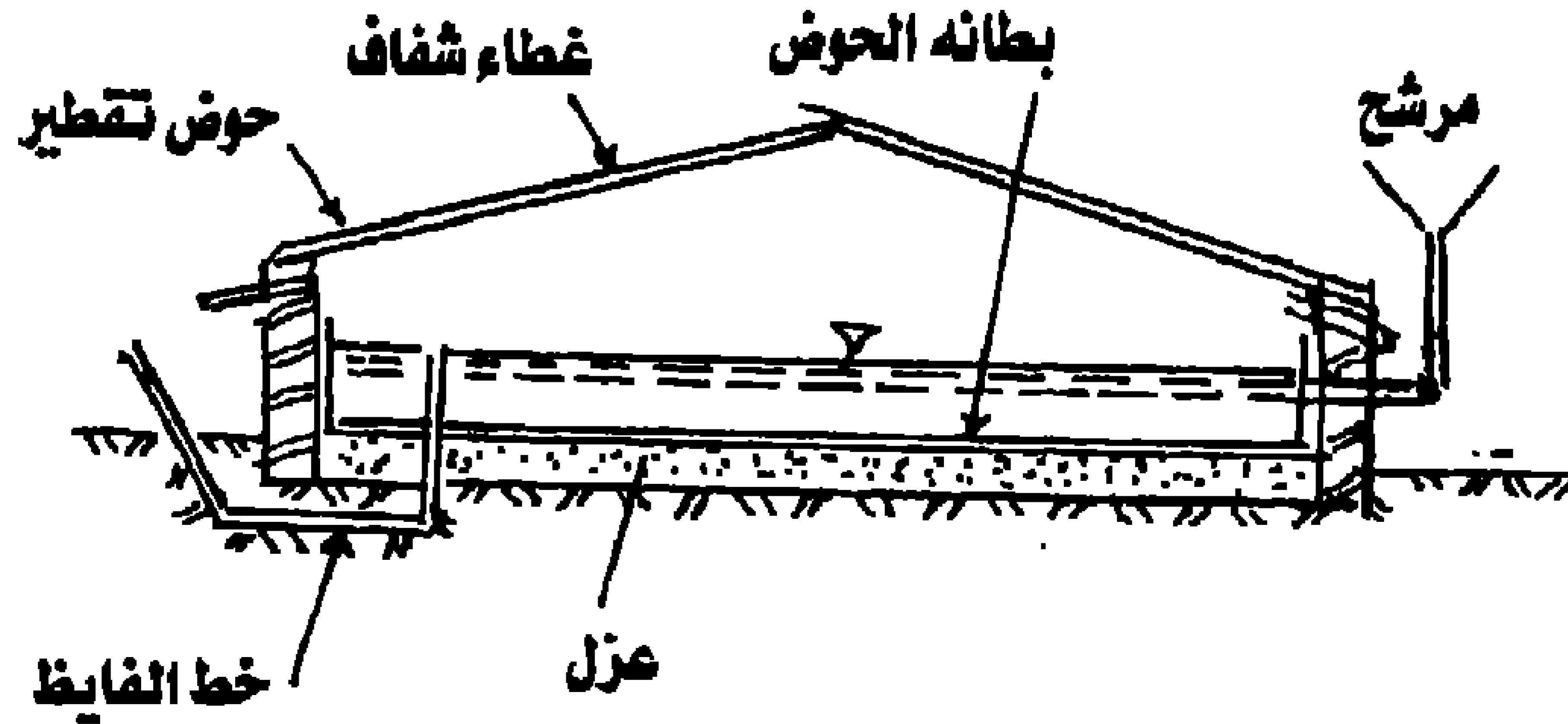
2- انتقال هذا البخار فى شكل رطوبة للهواء فوق الأرض إلى مناطق أبرد بواسطة رياح الحمل الحرارى.

3- تكثيف هذا البخار وترسيبه فى شكل مطر وبرد.

4- عودة الماء والثلج المنصهر بواسطة الأنهار إلى المحيطات، البحيرات والمسطحات المائية الكبيرة الأخرى.

بالنسبة للدورة الهيدرولوجية هذه، فإن الطاقة الشمسية هى الطاقة المحركة. فهى تخترق سطح الماء، تجعله ساخناً وتسبب تبخيره. وهى كذلك تنتج الرياح التى تنقل البخار إلى المناطق الأكثر برودة حيث يتكثف البخار كسائل. وإعادة الإنتاج على مستوى صغير جداً، المجالات الثلاث الأولى للدورة الهيدرولوجية تنتج ماء نقى. أبسط مقطر شمسى، المعروف عموماً.. بالمقطر من نوع الحوض "مبين فى الشكل رقم (7/16). وهو يتكون من حوض أسود محتوياً على مياه مالحة عند عمق ضحل، فوقها غطاء شفاف محكم ضد تسرب الهواء الذى يحتوى تماماً الفراغ فوق الحوض. الغطاء الذى عادة يكون من الزجاج، قد يكون من البلاستك، يميل نحو حوض التجميع. الطاقة الشمسية بعد المرور خلال الغطاء الشفاف، يتم امتصاصها بالماء وبطانة الحوض وبذا يسبب تسخين للماء مسبباً التبخير. مادة الغطاء الشفاف تكون أبرد من سطح الماء نظراً لأنها لا تمتص الإشعاع الشمسى. هذا الفرق فى درجة الحرارة ينتج تيارات حمل حرارى فى الهواء الذى يحتجز داخل هذا الحاجز. تلك التيارات تسبب التصاق الهواء الرطب مع الغطاء البارد نسبياً بما ينتج عنه تكثيف لبعض الرطوبة على سطح الغطاء. هذه المكثفات تنزلق إلى أسفل الميل، وتتدفق على طول الحوض وتنصرف خلال ماسورة الصرف. الماء المالح يمكن استبداله فى العملية إما باستمرار العمل أو بطريقة مرحلية (Batches). رغم وجود العديد من أشكال وحدات الأحواض فإن نظريتها الأساسية متشابهة. المقطر الشمسى من نوع الحوض قد أنتج مياه مقطرة بتكلفة لوحدة الإنتاج أقل من أى نوع من المعدة الشمسية وهو النوع الوحيد فى الاستخدام. كفاءة

العمل من 35 إلى 50% للمقطر من نوع الحوض، مقارنة بالنظرى الذى يزيد عن 60%. تلك الوحدات العملية تصمم لتجميع الإشعاع الشمسى، يستخدم مرة واحدة، ثم التخلص منه فى شكل حرارة نحو الجو بحيث أن الطاقة الشمسية المتجمعة لعدة مرات للحرارة الكامنة للماء المنتج تكون مطلوبة.



شكل (7/16) مخطط لمقطر شمسى من نوع الحوض

تقدير الأداء للمقطر الشمسى من نوع الحوض:

أداء المقطر الشمسى يقدر عموماً بكمية المياه المنتجة بكل وحدة من مساحة الحوض في اليوم. أى أمتار مكعبة أو لترات من الماء لكل متر مربع من مساحة الحوض فى اليوم. هذه الكمية سوف تتغير مع تصميم المقطر، وكثافة الإشعاع الشمسى والظروف الجوية فى المجال المحيط. معدل الإنتاج يتوقف أساسا على كمية الإشعاع الشمسى المتاح ولكن يتأثر بالعديد من العوامل الأخرى. الشكل رقم (8/16) هو مقطع الذى يبين العديد من كثافات الحرارة والطاقة واتجاهاتها. يرى أن الإشعاع الشمسى القادم يتم امتصاصه جزئياً بواسطة الغطاء الشفاف، الماء وبطانة الحوض، مع جزء صغير منها ينعكس ثانياً إلى الفراغ بواسطة الزجاج وسطح الماء. الجزء من الطاقة الممتصة فى الحوض الذى يحتمل أن ينتج البخار وبالتالى الماء المقطر، يتوقف على التغير فى درجة حرارة ماء الحوض والفقد الحرارى من حوض الماء. أخيراً كمية البخار المكثف، وبالتالى كمية المقطر المنتج، تتأثر بانتقال المادة والحرارة إلى الغطاء الشفاف على الداخل ومعدل انتشار الحرارة من الغطاء نحو المجال الخارجي.

حرارة العمليات الصناعية (الاستخدام الصناعى للطاقة الشمسية)

مقدمة :

تسخين الماء الشمسى وتسخين الهواء معروفين الآن. مع كل التقنيات الحديثة والمطورة فى نظم حرارة الطاقة الشمسية.

الطاقة الشمسية للاستخدام الحرارى فى الصناعة أثبتت اقتصاديتها لدرجة حرارة أقل من 100^{o}م. ومع التطوير للمركزات الثابتة والمتتبعة فإن درجة حرارة حتى 300^{o}م ستكون ذات جدوى. فى المجال الحالى للطاقة، يكون المطلوب توفير طاقة حرارية أقل من 300^{o}م من الشمس. هذا إجبارى نظراً لأن الوقود من النوعية الجيدة من الزيت والفحم ذو درجة حرارة لهب مرتفعة عند استخدامه فى التطبيقات ذات درجة الحرارة المنخفضة ينتج عن ذلك الانخفاض الشديد فى الكفاءة. لذلك، فإن اختيار الطاقة الشمسية للاستخدام الحرارى المباشر حتى 300^{o}م فى الصناعات واضح تماماً. الوقود ذو النوعية العالية مثل (الفحم، الزيت..الخ) يمكن توجيهه للمهام ذات درجات الحرارة الأعلا.

ميزة استخدام الطاقة الشمسية هى أنها مصدر للطاقة غير ملوث وهى غير مرتبطة بقيود الإمداد الخارجى.

يوجد العديد من العوامل التى يلزم اختبارها لحسن استخدام الطاقة الشمسية للتسخين الصناعى. أولاً الإشعاع الشمسى هو مصدر مخفف للطاقة ذو ذروة كثافة حوالى كيلوات/المتر المربع. على الجانب الآخر، فإن استخدام كثافة الطاقة تكون مرتفعة فى الصناعى الذى يعنى أن مساحات كبيرة مطلوبة لجمع الطاقة الشمسية. عدم إتاحة المساحات الكبيرة لإنشاء المجمعات الشمسية يمكن أن يكون مشكلة للصناعات المقامة فى المناطق كثيفة السكان. ثانياً، يوجد العديد من التغير فى الإشعاع الشمسى، سواء يومياً أو موسمياً، والذى يحتم تخزين الطاقة الشمسية و/أو نظام ارتجاع باستخدام مصادر الطاقة التقليدية. الحاجة إلى مساحات كبيرة للمجمعات والحاجة إلى التخزين هما السبب فى التكلفة الأولية العالية للنظم الشمسية. ثالثاً، تعقيدات وتكلفة نظام الحرارة الشمسية يزداد مع درجات الحرارة التى عندها يلزم الحصول على الطاقة الحرارية. لذلك، فإنه يكون من المهم معرفة درجات الحرارة المطلوبة فى العملية الصناعية وكمية الحرارة المطلوبة عند درجات الحرارة المختلفة.

التطبيقات الصناعية وإمكانياتها:

الاستخدام الحرارى فى الصناعة موضح فى الجدول التالى/ للحصول على فكرة عن الطيف المتسع للعمليات، إمداد الطاقة الذى يمكن استبداله جزئياً بالطاقة الشمسية. الاختيار الممكن للمجمعات الشمسية موضح كذلك. يوجد نطاق واختبار نهائى لما هو مناسب.

المميزات العديدة للاستخدامات الصناعية على الاستخدامات السكانية والتجارية هى:

1- الأحمال الصناعية هى غالباً مستمرة خلال العام.
2- الوحدات الصناعية لها طاقم صيانة، أو فى المصانع الصغيرة يوجد العمالة الماهرة الذين يمكنهم تشغيل النظم الشمسية بهدوء.
3- إجمالى الكمية من الطاقة المستبدلة بواسطة الطاقة الشمسية تكون كثيرة جداً مسببة زيادة الخفض فى استخدامات البترول وعدم استخدام الفحم الملائم لدرجات الحرارة العالية.

ولكن توجد بعض المحددات:

1- وفرة الشمس بطريقة متقطعة.
2- المساحة للحظية: فى كل حالات مساحات السقف قد تكون غير ملائمة لاحتواء مساحة المجمع المطلوبة. قد تستخدم أراضى مكلفة إضافية. فى بعض الحالات يكون السقف له ميل من الشرق إلى الغرب، بدلاً من نوع الشمال الساطع، بما يجعل وضع المجمع مكلف وغير مقبول.
3- المخلفات الصناعية (Effluents) يمكن أن تكون ضارة للأغطية الشفافة والأسطح الانعكاس

الصناعة والعملية	شكل الطاقة	درجة الحرارة ^{o}م	اختبار المجمعات
1- الألومنيوم: عملية باير (Bayer process) Digestion	بخار	215	أحواض طولية بالقطع المكافئ (LPT)
2- السيارات التصنيع تسخين المحاليل تسخين البوية حمام الهواء التجفيف	بخار هواء هواء	85-50 30 - 20 200-160	SP/SAH/FPC SAH FCS/LPT
3- كتل وطوب الخرسانة منتج الشك	هواء	180-75	FCS/LPT
4- الجبس التحميص الشك للبلاستك	هواء بخار	160 300	FCS/LPT LPT

5- كيماوى			
إذابة البوراكس	بخار	100 - 85	FPC/FCS
تجفيف البوراكس	هواء	75 - 60	SP/FPC
تقطر الماء المالح	بخار	100°م	FCS
تجفيف حامض الفوسفوريك	هواء	120°م	FCS/LPT
غسيل KCL (Leaching)	بخار	95°م	FPS/FCS
تجفيف KCL	هواء	120°م	FCS
تنقية معدن الصوديوم	بخار	135°م	FCS/LPT
6- الطعام		70-50	
الغسيل	ماء	95 - 38	SP/SAH/FPC
التركيز	بخار	190 - 120	SP/SAH/FPC
الطهى	بخار	230 - 120	FCS/LPT
التجفيف	بخار		FCS/LPT
7- الزجاج			SP/SAH/FPC
الغسيل والشطف	ماء	95 -65	FCS/LPT
الصحائف (LAMINATED)	هواء	175 - 100	FCS/LPT
تجفيف الشعيرات الزجاجية	هواء	140 - 135	SP/SAH/FPC
التلوين	هواء	95 - 20	FCS
8- ألواح الخشب المنشور (Lumber)	هواء	100 - 65	SP/SAH/FPC
تجفيف الفرن	بخار	175 - 100	FCS/LPT
تحضير الغراء	بخار	200	FCS/LPT
الضغط على الساخن	ماء	85	FPC
إعداد قطعة الخشب (جذع الشجرة)			
9- التعدين :			
استخلاص الكبريت الطازج	ماء	170 - 160	FCS/LPT
10- الورق/لب الورق/ الكرافت/إعداد اللب	بخار	190-180	FCS/LPT
11- البلاستك			
بدء العمل Initiation	بخار	145 - 120	FCS/LPT
تقطير البخار	بخار	145	FCS/LPT
الفصل الوميضى	بخار	215	LPT

البثق	بخار	190	FCS/LPT
التجفيف	بخار	190	FCS/LPT
الخلط	بخار	188	FCS/LPT
12- المطاط المخلق			
بدء العمل	بخار	120	FCS
استعادة المونومر	بخار	120	FCS
التجفيف	بخار	120	FCS
13- الصلب			
المعالجة بالحامض (Picking)	بخار	105 - 65	SP/SAH/FPC
التنظيف	بخار	95 - 80	FPC/FCS
14- المنسوجات:			
الغسيل	ماء	80 - 70	SP/SAH/FPC
التحضير	بخار	110 - 60	SP/SAH/FPC
المرسرة	بخار	110 - 50	SP/SAH
التجفيف	بخار	135 - 60	SP/SAH/FPC/FCS/LPT
التشطيب	بخار	150 - 60	FPS/FCS/LPT

(البركة الشمسية) solar pond = SP

(سخان الهواء الشمسى) Solar air heater.= SAH

مجمع السطح المستوى (liquid) flat plate collector = FPC

Fixed concentration surface / CPS = FCS

Compound parabolic concentrator

سطح المركز الثابت/ المركز المركب بالقطع المكافئ

(الحوض المستقيم بالقطع المكافئ) Linear parabolic trough = LPT

الإمكانيات : The Potential

فى عدم وجود دراسة مستفيضى لتقدير كميات الطاقة الحرارية المستخدمة فى الصناعة عند مستويات درجة حرارة مختلفة، فإنه يكون من الصعب تقدير إمكانيات استخدام الطاقة الشمسية للعمليات الصناعية. من الجدول السابق يتضح أن معظم الطاقة المطلوبة للصناعات هى أقل من 175^{o}م.

صناعة الألبان : (Dairy processing)

الخطوة الأولى فى صناعة الألبان هى البسترة (أى التعقيم) والتى تتم عند 80^{o}م، ولكن بسبب الطبيعة الاسترجاعية للعملية، فإن صافى استهلاك الطاقة الحرارية يصل

إلى 25% من إجمالى الطاقة اللازمة للعملية. الطاقة الحرارية يتم استهلاكها غالباً فى غسيل الزجاجات والعلب، وكلا العمليتين تلك تستهلك حوالى 75% من الطاقة المطلوبة. درجة الحرارة المطلوبة لهذه الاستخدامات تتغير من 65 إلى 90°م وتلك يمكن توفيرها حالياً باستخدام مجمعات اللوح المستوى.

صناعة المنسوجات:

صناعة المنسوجات هى واحدة من أكبر الصناعات المستهلكة للطاقة. الماء الساخن حتى 90°م يمكن استخدامه فى التطبيقات الآتية خلال صناعة المنسوجات وهى تغذية الغلاية، الغسيل، التبيض، المرسرة، الصباغة، التجهيز، التجفيف..الخ.

الحاصلات الزراعية :

التجفيف هو خطوة هامة فى صناعة الحاصلات، ولكن الطرق التجارية للتجفيف باستخدام البخار أو الهواء الساخن معرضة للتجفيف للشمس المباشر والذى رغم أنها الطريقة الرخيصة المتاحة للمزارعين إلا أنها غير مؤثرة مسببة التلف للمحصول. استخدام الطاقة الشمسية للتجفيف اقتصادى ومطلوب. وسيتم وصف استخدام الطاقة فى المجال الشمسى.

تصنيع الأرز:

طبقاً للدراسات، فإن كمية البخار اللازمة لتسخين الماء (لعملية النقع) والتبخير (Steaming) هى حوالى 200 كجرام عند ضغط 4 جوى لكل طن من تصنيع الأرز الخام.

تصنيع الحاصلات من الحبوب بالتجفيف يحتاج إلى هواء ساخن عند درجة حرارة أقل من 70°م.

تصنيع الغذاء :

استهلاك المواد الغذائية المصنعة مثل المعلبات من الفاكهة والخضروات زاد كثيرا، المعلبات من المياه الغازية، العصائر تصل إلى 75% من إجمالى الإنتاج، بينما الفاكهة المعلبة والخضروات والطماطم ..الخ تكون الباقى 25%. نظرا لأن صناعة المواد الغذائية تغطى مجال كبير من المنتجات، فإنه يستخدم العديد من العمليات فى تصنيع مختلف المنتجات. تصنيع الفاكهة يتضمن استخدام كبير للطاقة الكهربية وكذلك الطاقة الحرارية. تستخدم الطاقة الحرارية فى شكل بخار وماء ساخن. درجة حرارة الماء الساخن تتراوح ما بين 70 - 100°م. استخدام الهواء الساخن فى المجال ما بين 60 - 120°م.

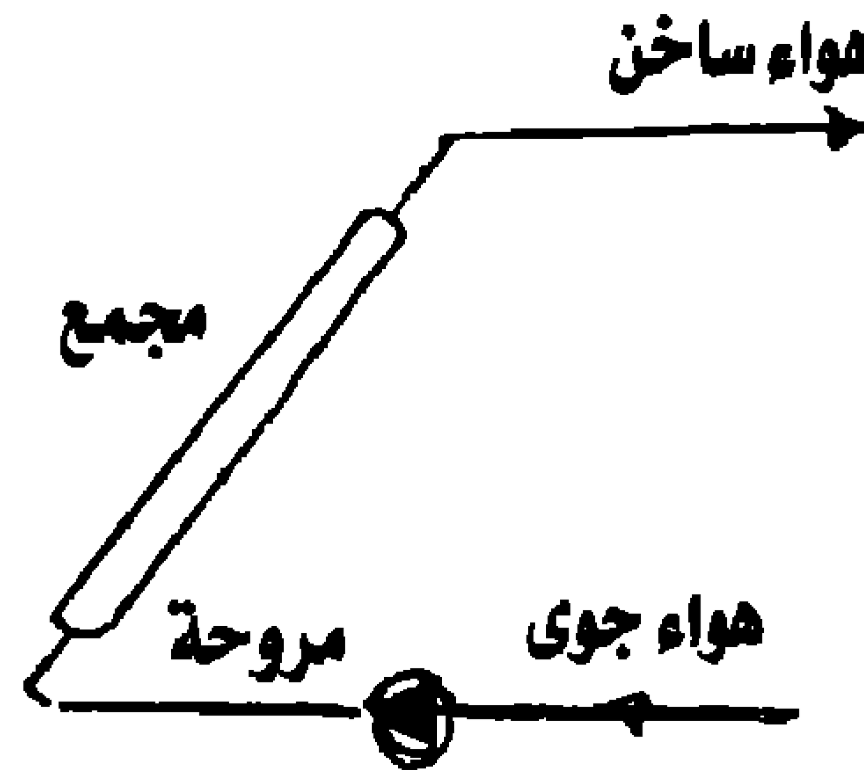
- صناعة الورق ولب الورق.
- صناعة الحرير .
- صناعة الأخشاب.
- فى الاستخدامات الفندقية.
- فى التبريد بالتبريد بالامتصاص وهى طريقة واحدة فى مجال التخزين البارد وحفظ المواد الغذائية.

أنواع عمليات الحرارة الصناعية:

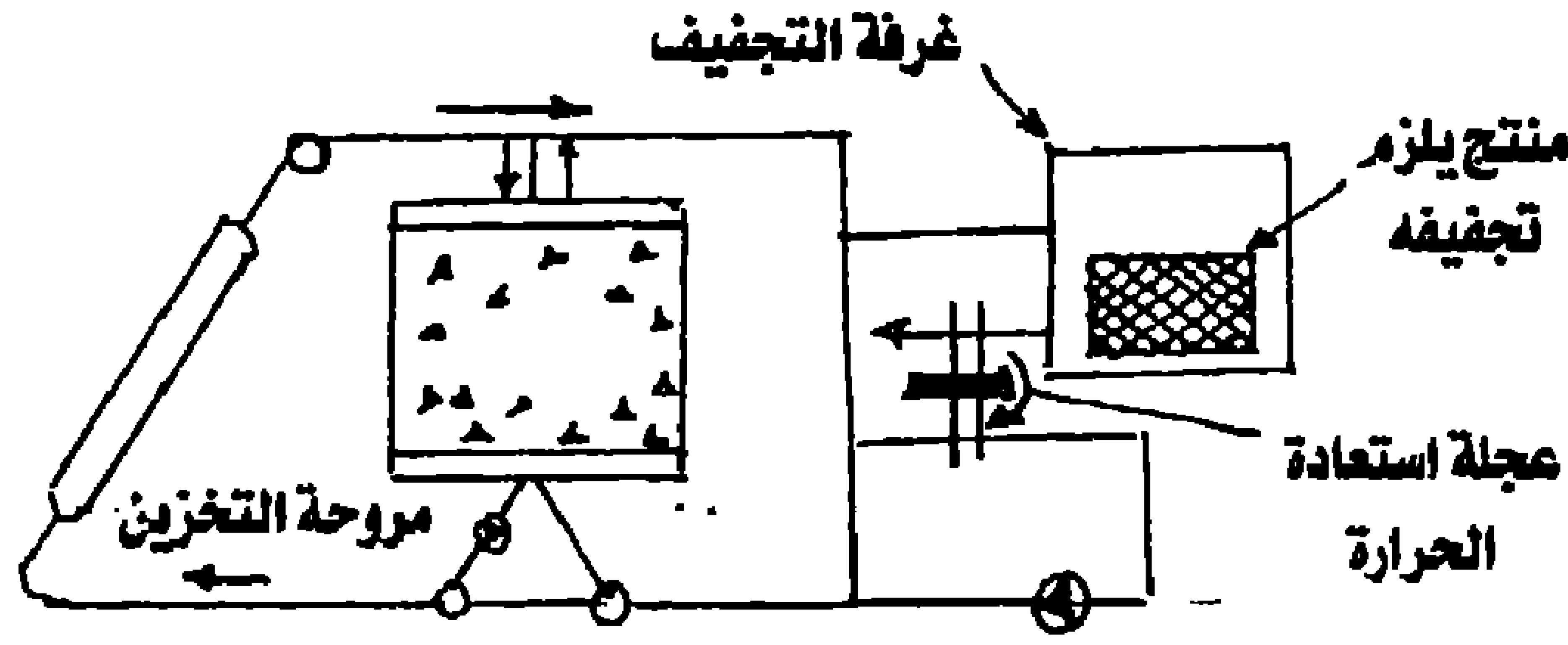
من الواضح من الجدول السابق أن العمليات الصناعية هى أساسا من ثلاث أنواع وهى الهواء الساخن، الماء الساخن، بخار العمليات. الآتى هى الأشكال الأساسية لمثل تلك النظم الشمسية.

1- نظم الهواء الساخن :

هذه يمكن أن تكون مباشرة أو بالتخزين فى حوض من الصخر، كما هو موضح فى الشكل رقم (8)، رقم (9) على التوالى. النظام المباشر (أو المرور البسيط) أرخص وأسهل فى التشغيل والصيانة. وهو مفضل للعمل على مراحل ووقت النهار بما يبعد استخدام التخزين. وهو يستخدم كذلك حيث خرج الهواء له رطوبة عالية التى لا يمكن إعادة تدويرها. ولكن، إذا كان خرج الهواء مرتفعاً بما يمكن من استعادة الحرارة، فإن تأثير التكلفة يلزم أن يؤخذ فى الاعتبار. عجلة استعادة الحرارة هى عنصر منخفض التكلفة ولكنه يحسن من الاقتصاديات للنظام. تخزين الصخر رخيص نسبياً ويمكنه الحصول على التراص فى طبقات (Stratification) - التخزين الحرارى يمكن أن يكون للماء كذلك نظراً لأن الطاقة الداخلية (Parasitic) يمكن خفضها. الاختبار يتوقف على الاستخدام.



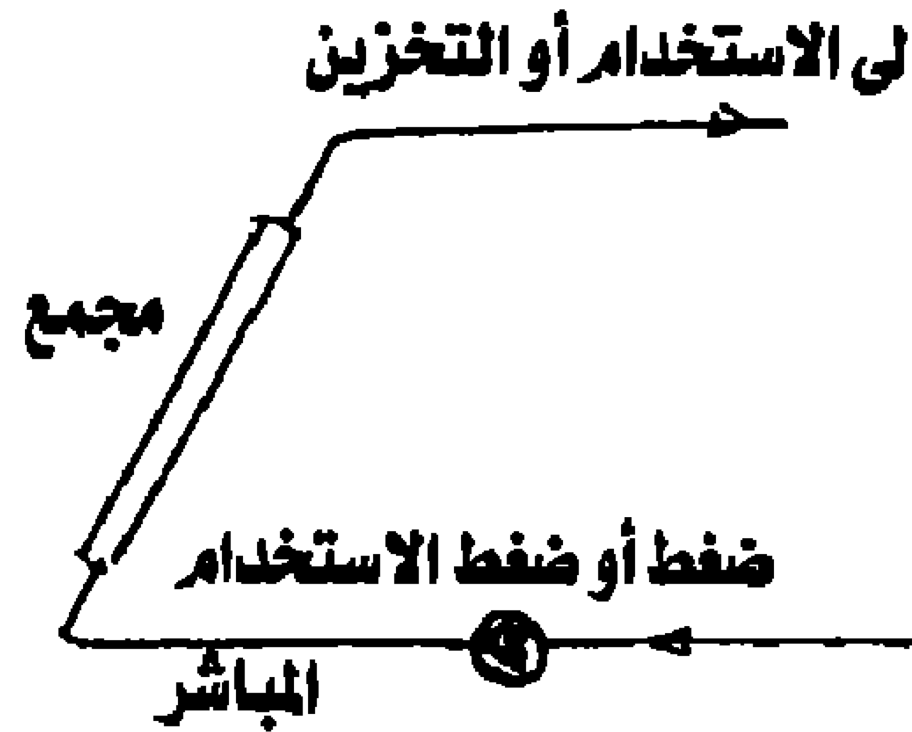
شكل رقم (8/16) نظام الهواء الساخن بالممر الواحد



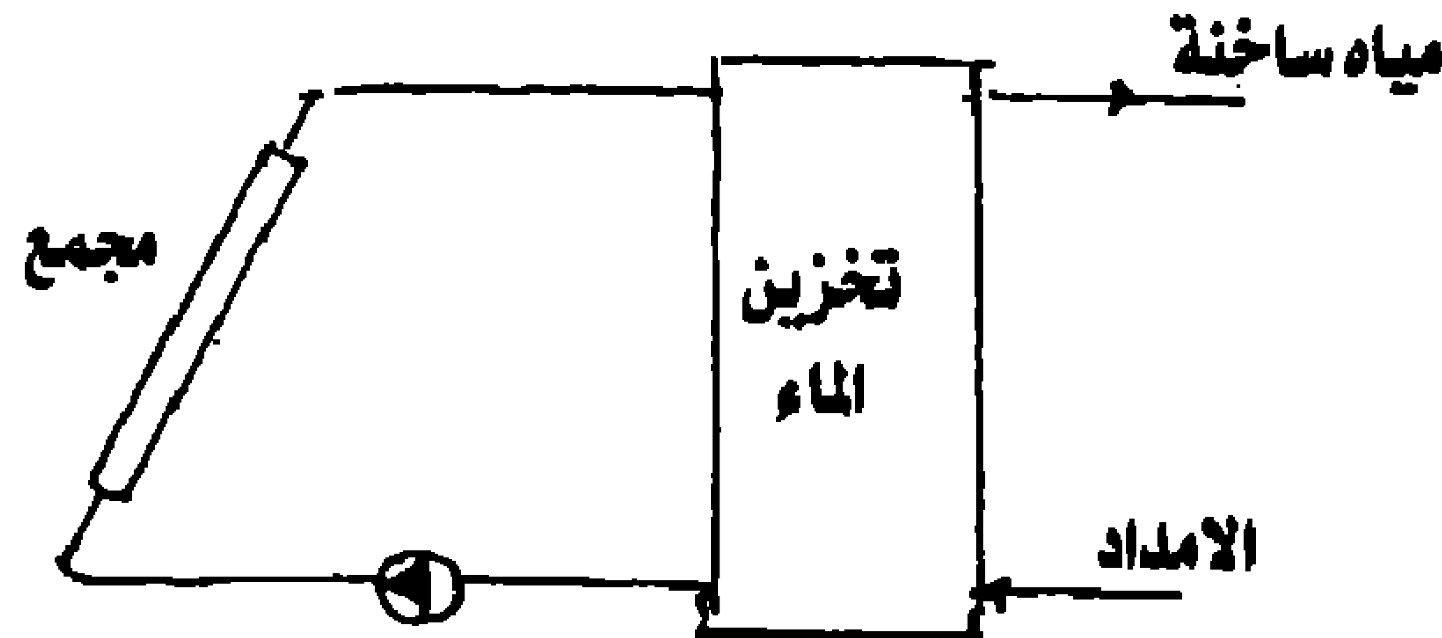
(9/16) نظام الهواء الساخن الشمسى مع التخزين

2- نظم الماء الساخن :

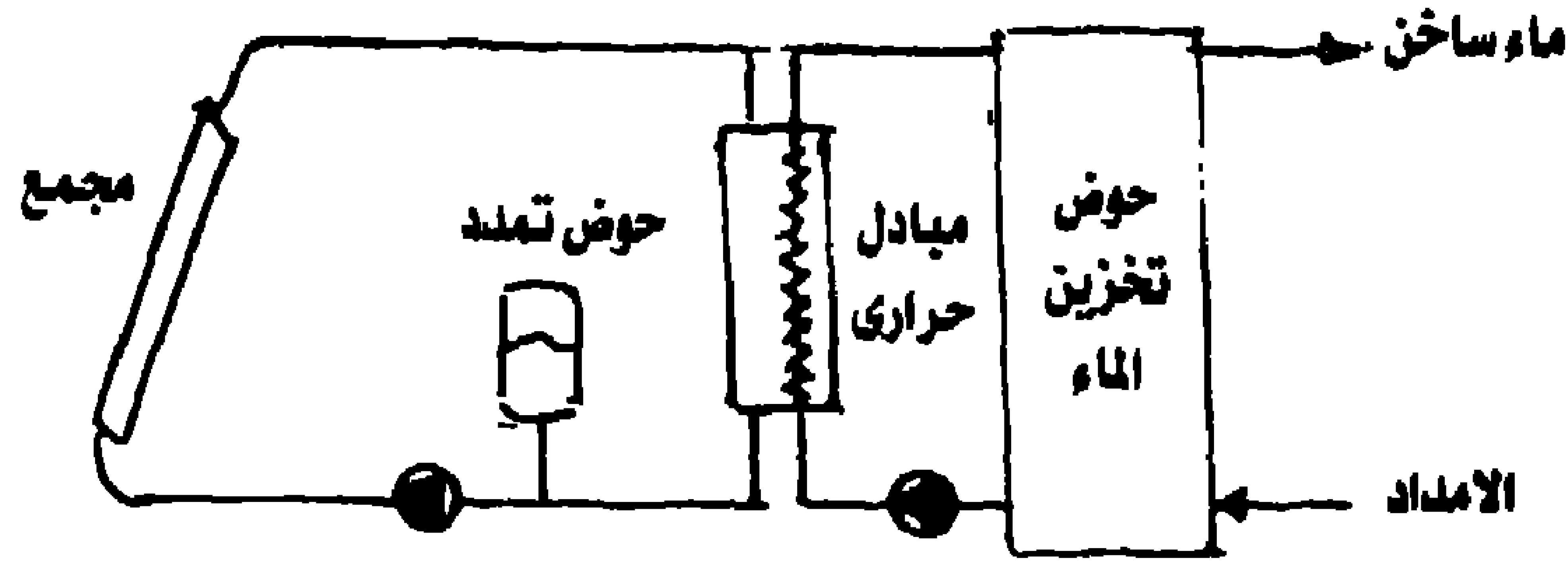
الأشكال رقم 10، 11، 12 تبين الثلاث أنواع المستخدمة عادة. الشكل (10) هو نظام الممر الوحيد أو النظام المباشر. الماء الساخن الخارج يذهب إما إلى العملية أو إلى التخزين. يمكن تحمل التغيرات المختلفة فى درجات الحرارة. وهذا أبسط نظام. عندما يكون المطلوب التخزين للاستخدام الليلى يستخدم النظام الموضح فى الشكل (11). لأسباب التآكل والترسيبات، والتجمد أو درجة حرارة أعلا من 100^{0}م يمكن يتم عزل ضغط المجمع من ذلك للإمداد، فإنه يستخدم الحلقة المقفلة أو النظام الغير مباشر الموضح فى الشكل (12). حوض التمدد يكون ضروريا لاحتواء تمدد مائع حلقة المجمع.



شكل رقم (10/16) نظام الماء الساخن الشمسى بالممر الواحد



(11/16) نظام الماء الساخن الشمسى بالحلقة المفتوحة



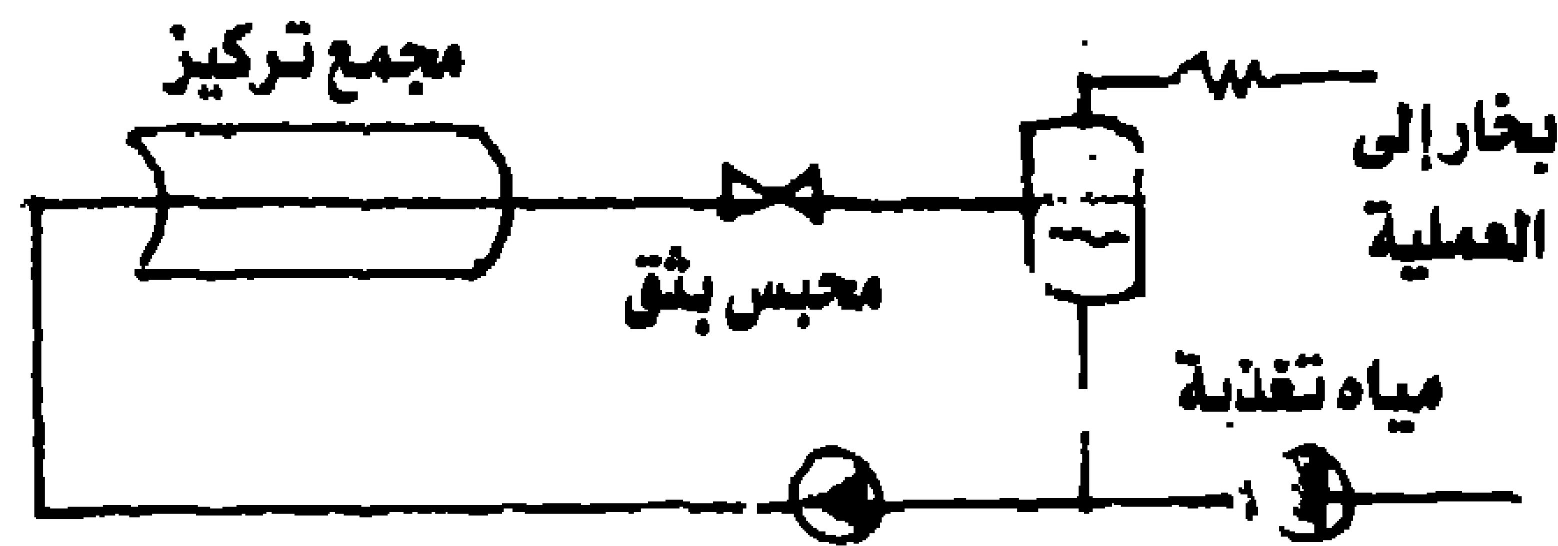
(12/16) نظام الماء الساخن بالحلقة المقفلة

3- نظم البخار:

يستخدم البخار كثيراً كوسط للانتقال الحرارى لكثير من عمليات الحرارة لدرجة حرارة أقل من 200^{o}م. وهو يستخدم كذلك حتى للاستخدامات التى تتطلب درجة حرارة أقل من 100^{o}م عند استخدام نظام تسخين مركزى. وهذا واضح من الجدول السابق. العمليات الصناعية لها تجارب كبيرة فى توليد البخار واستخدامه. لحسن الحظ فإن نظام البخار الشمسى يتضمن تعديل بسيط نسبياً بدون التغير فى عمل المحطة الحالية. الطرق المختلفة لتوليد البخار سيتم مناقشتها:

أ- نظام البخار الوميضى: (Flash steam system)

المخطط موضح فى الشكل (13/16). الماء المضغوط يتم تدويره خلال مجمعات التركيز ويحدث الوميض خلال محبس البثق. خليط المجالين الناتج يحدث له الانفصال فى حوض الوميض. البخار يتم إرساله إلى العملية بينما الماء يتم إعادة تدويره ثانياً. مياه التغذية يتم حقنها للتعويض.



شكل (13/16) نظام شمسى بالبخار الوميضى

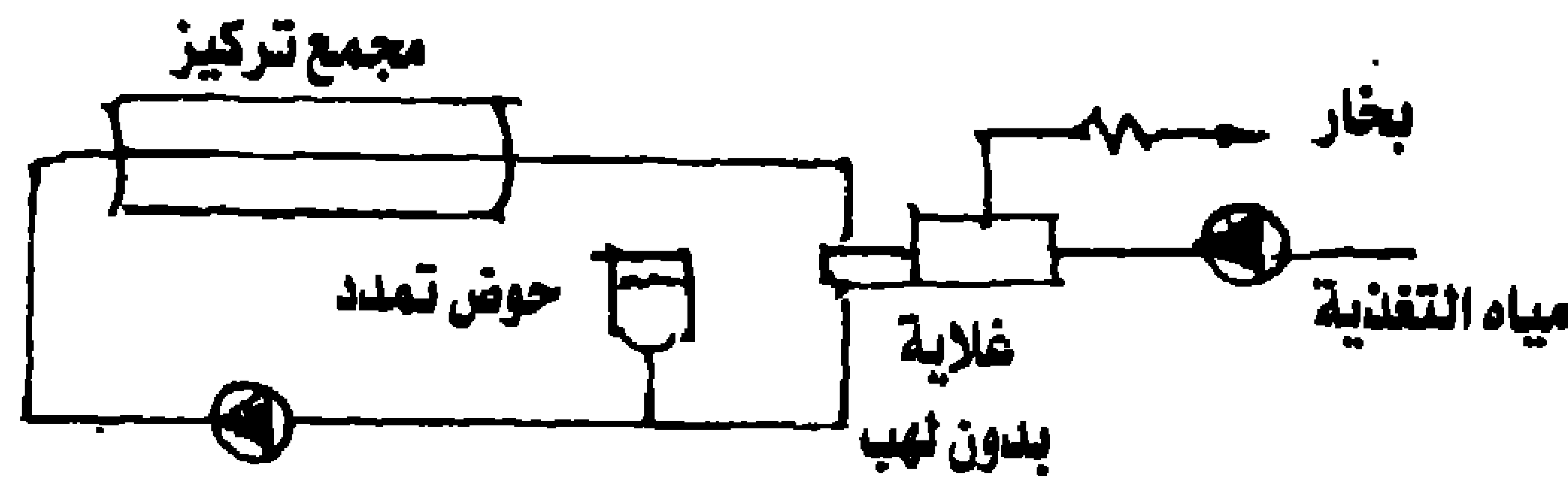
مائع التشغيل هو الماء الذى هو متاح ورخيص نسبياً وغير سام وغير قابل للاشتعال وله خواص حرارية جيدة. التعويض يكون بسبب التسرب وهو غير مكلف. ولكن، السلبيات هى أن ضغط البخار يزداد بسرعة فوق 177^{o}م. هذا يحدد ضغوط البخار التى يمكن توليدها بهذه الطريقة إلى حوالى 20 كجرام/سم2 عند مستويات مقبولة

لطاقة الضخ المطلوبة. درجة حرارة المجمع يجب أن تكون أعلا كثيراً عن تلك للبخار بسبب الوميض (Flashing) إذا كان المطلوب نوعية مناسبة من البخار تحت التيار لمحبس البثق وللحد من معدل إعادة تدوير المياه.

ب- نظام البخار للغلاية بدون لهيب: (Unfired Boiler steam system)

المخطط موضح فى الشكل (14). مائع الانتقال الحرارى يتم تدويره خلال مجال مجمع التركيز ويتم توليد البخار فى الغلاية بدون لهب. طبيعى، المائع ذو ضغط البخار المنخفض بخلاف الماء يتم استخدامه، بحيث أن ضغط الحلقة (Loop) يظل منخفضاً. يمكن أن تكون الزيوت أروماتيك أو أليفايتك والسيليكونات. الاختيار يتوقف على درجات حرارة التشغيل والسكون ومدى التوافق مع المكونات والعزل. وهى أكثر تكلفة عن الماء، خاصة السيلكونات.

فى مثل هذا الشكل يعمل المجمع كذلك عند درجة حرارة أعلا من البخار المناول (Delivered) بسبب استخدام (Introduction) الغلاية بدون لهب. طبقاً للمائع، فإن قوة الضخ يمكن أن تكون كبيرة إذا كانت للزوجة عالية عند درجة الحرارة العالية. البداية يمكن أن تتطلب طلمبة موجبة الإزاحة.



شكل رقم (14/16) نظام البخار بالغلاية اليدوى

شكل التخزين:

التخزين يكون مطلوبا عندما يكون الجزء الشمسى مرتفعاً (Solar fraction) (الجزء الشمسى يعرف بنسبة إمداد الطاقة بالنظام الشمسى إلى مطالب الطاقة) أو حدوث حمل خلال الليل. بالنسبة للعمل خلال وقت النهار فإن التخزين يمكن ويجب تجنبه. توجد عمليات التى بنيت للتخزين مثل شك الكتل الخرسانية.

تخزين الماء الساخن: يوجد نوعين من التخزين:

التخزين متغير الحجم والى يستخدم عادة لسخان الماء الشمسى ذو الممر الواحد كما هو موضح فى الشكل رقم (15). التخزين يمتلئ عند وجود الماء من المجمع خلال

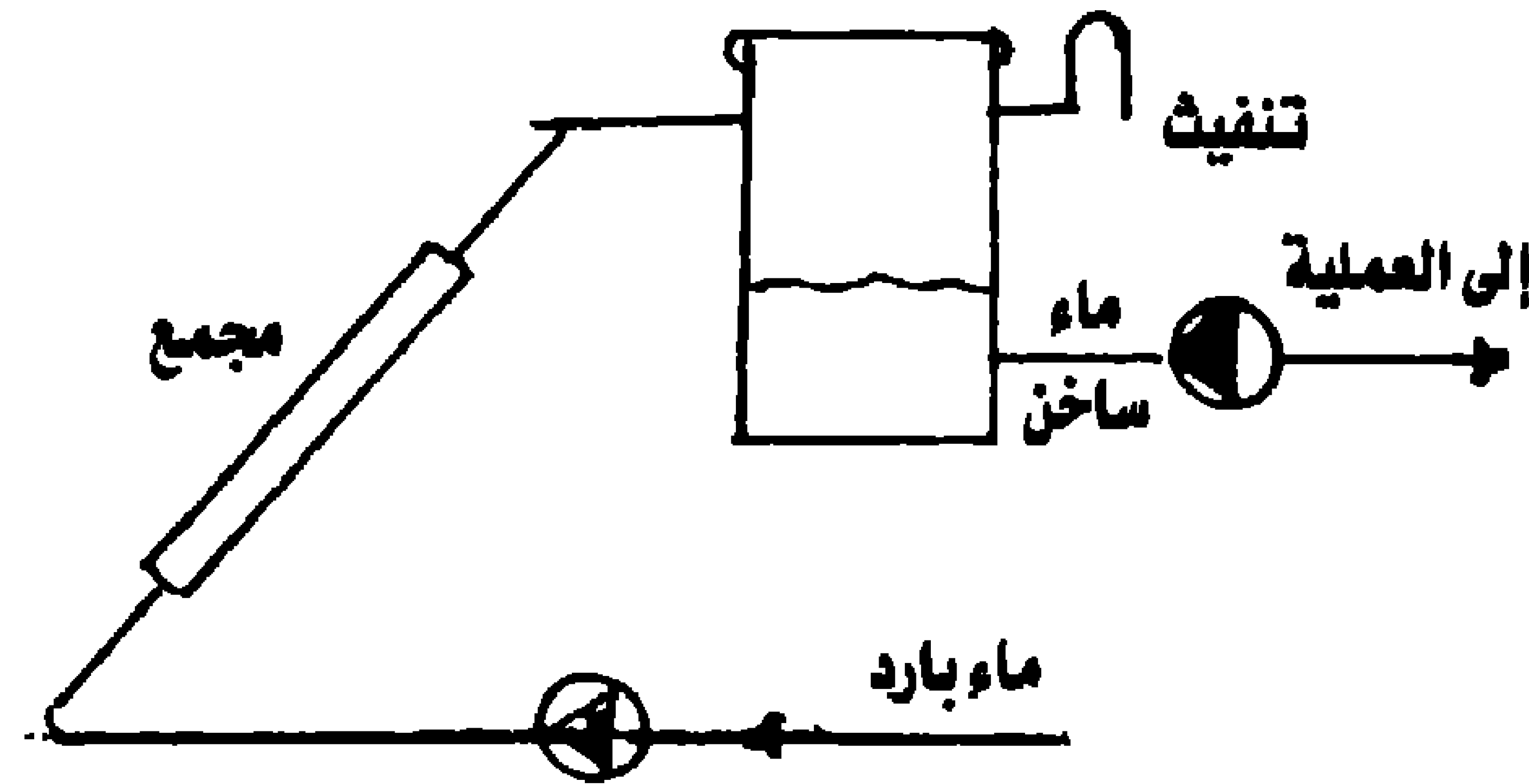
النهار. وهو لا يتطلب حوض غير مضغوط يمكن أن يكون بغطـــاء علـــوى معـــزول ومنفصل. ولكن السلبيات هى:

أ- الفقد بالتبخير والأبخرة المكثفة تدخل خلال العزل فى حالـــة عـــدم اللحـــام الجيد. يحدث تلف للعزل وبدأ التآكل الخارجي.

ب- التنفيس يكون مطلوباً لاستبدال الهواء وهذا يعمل كمكثف ارتجاع. خـــلال الليل فقد التخزين يمكن أن يكون كثيراً مقارنة بفقد العزل. يمكن أن يكون مرتفعاً مثل 8-10^{o}م.

جـ- أقصى مستوى للتحكم يكون مطلوباً لإيقاف الطلمبة.

د- يلزم طلمبة إضافية لنقل الماء الساخن غلى العملية إذا كان التدفق بالجاذبية ليس متاحاً.

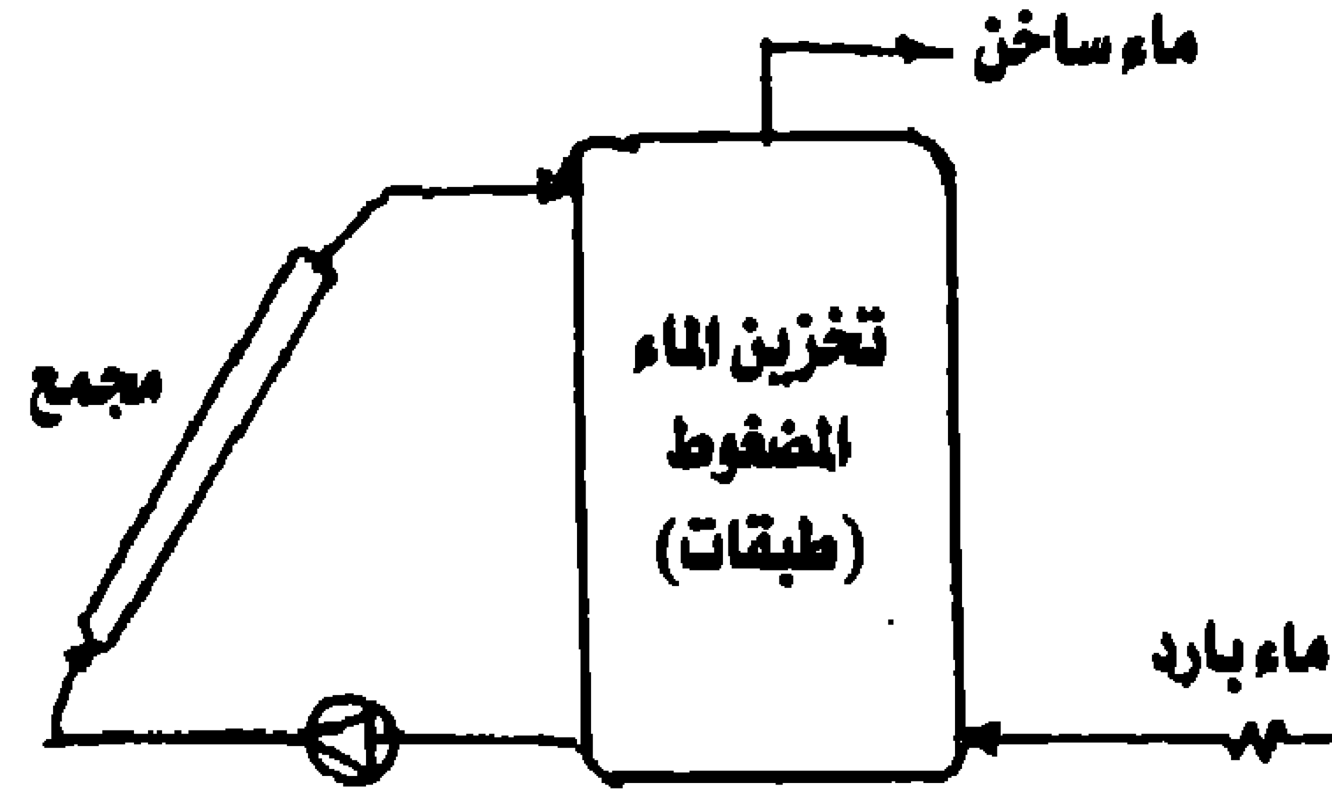


شكل رقم (15/16) تخزين الماء الساخن متغير الحجم

فى النوع الشمسى الآخر يستخدم الخزان المضغوط شكل (16/16). يدخل المـــاء البارد حيث يتم سحب الماء الساخن، بينما يعمل المجمع الحلقى مستقلاً. الضغط عادة لا يزيد عن 2 جوى ولذلك فإن سمك جدار الغلاف لا يزيد عن حجم حـــوض التخـــزين المتغير. فى حالات معينة، ويفضل فى كل الحالات، يتم تصميم الخزان إلـــى مـــادون الضغط الجوى فى حالة فشل محبس عدم الرجوع أو محبس تـــصريف الهـــواء عنـــد تصريف الخزان. هذا يمكن أن يكون هاماً فى حالة الخزان عند سطح الأرض ولكـــن يتم مراعاته للخزانات على السطح. المقويات (Stiffener) يتم توفيرها بتكلفة عاديـــة ولخفض سمك الجدار. الفرق يمكن أن يكون عند أقصاه بسبب متطلبات الرأس الطبقى.

هذا الشكل شديد السهولة للعمل والفقد خلال الليل يمكن أن يحافظ عليه ليكون أقل من 5^{o}م لدرجة حرارة تخزين من60 - 70^{o}م.

الترقيق (Stratification) يمكن استمراره الذى يسمح للـنظم للتحـسن بحـوالى 10 - 15% للتخزين جيد الخلط.



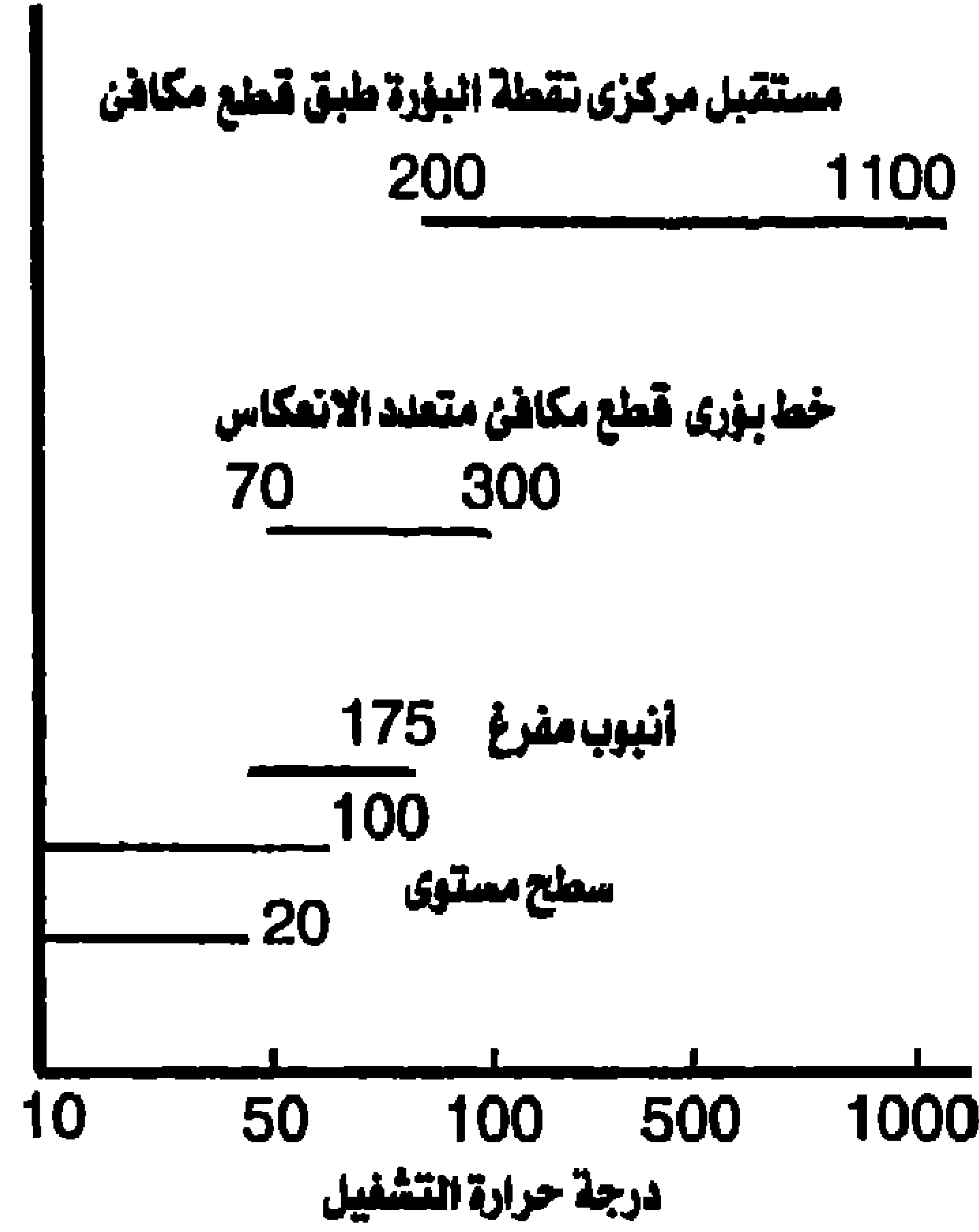
شكل (16/16) تخزين الماء الساخن المضغوط

اختبار المجمعات الشمسية لتسخين العملية الصناعية:

المجمعات الشمسية هى قلب النظام الشمسى التى تحول الإشعاع الشمسى إلى طاقة حرارية. أنواع كثيرة من المجمعات تم تطويرها، ومتاحة تجارياً وكذلك ما هو تحـت التطوير، الشكل (17) يوضح مجال العمل للمجمعات المختلفة. تلـك المجمعـات تـم مناقشتها سابقاً.

طريقة اختيار المجمع هى عادة عملية من خطوتين. أولا، يتم تحديد النوع المناسب من المجمعات، ثم بعد ذلك يتم اختيار الصنف المعين (Brand). عادة يتم اختيار نـوع المجمع أثناء مرحلة التصميم. اختيار نوع المجمع عند مرحلة مبكرة يعجل من بـاقى عملية تصميم النظام.

اختيار أفضل مجمع لاستخدام صناعى معين يتضمن تحديد أفـضل قيـاس لأداء النظام الشمسى (هو المتوسط السنوى لإنتاج الطاقة بواسطة النظام) وكذلك التكلفة الكلية للنظام، يجب أن تشمل التكلفة المباشرة مثل المجمع، المواسـير، العـزل، المبـادلات الحرارية، التحكم والطلمبات وكذلك التكلفة الغير مباشرة مثل الإنشاءات، الصيانة..الخ.



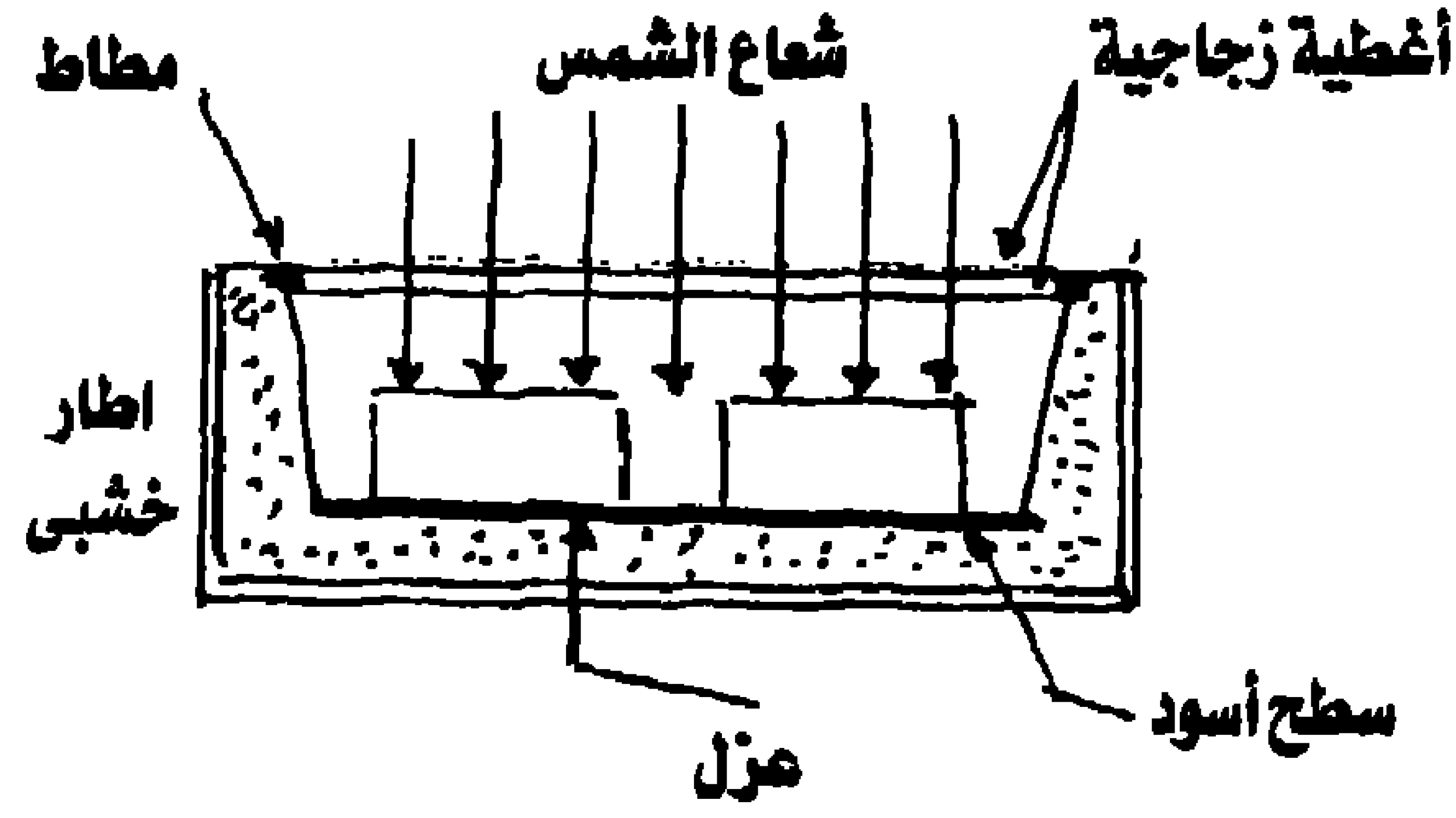
شكل (17/16) درجة حرارة التشغيل لمختلف المجمعات الشمسية للعمليات الصناعية

الطهى الشمسى : (Solar cooking)

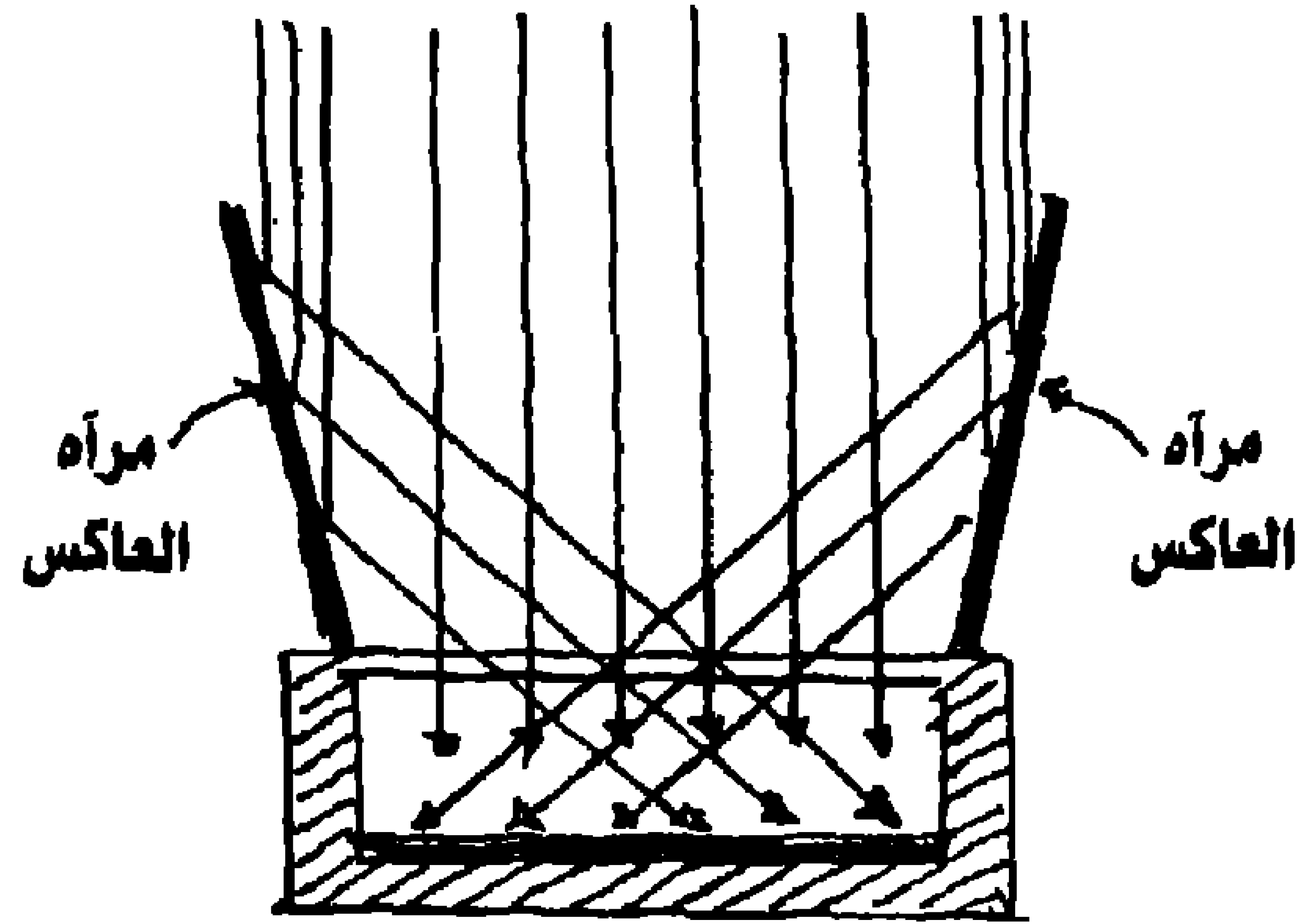
أساساً يوجد ثلاثة أنواع من الطباخ الشمسى:

1- النوع الصندوقى باللوح المستوى بعاكس أو بدون عاكس
2- الفرن الشمسى من نوع العاكس المتعدد.
3- نوع الطباخ الشمسى بقرص المركز بالقطع المكافئ.

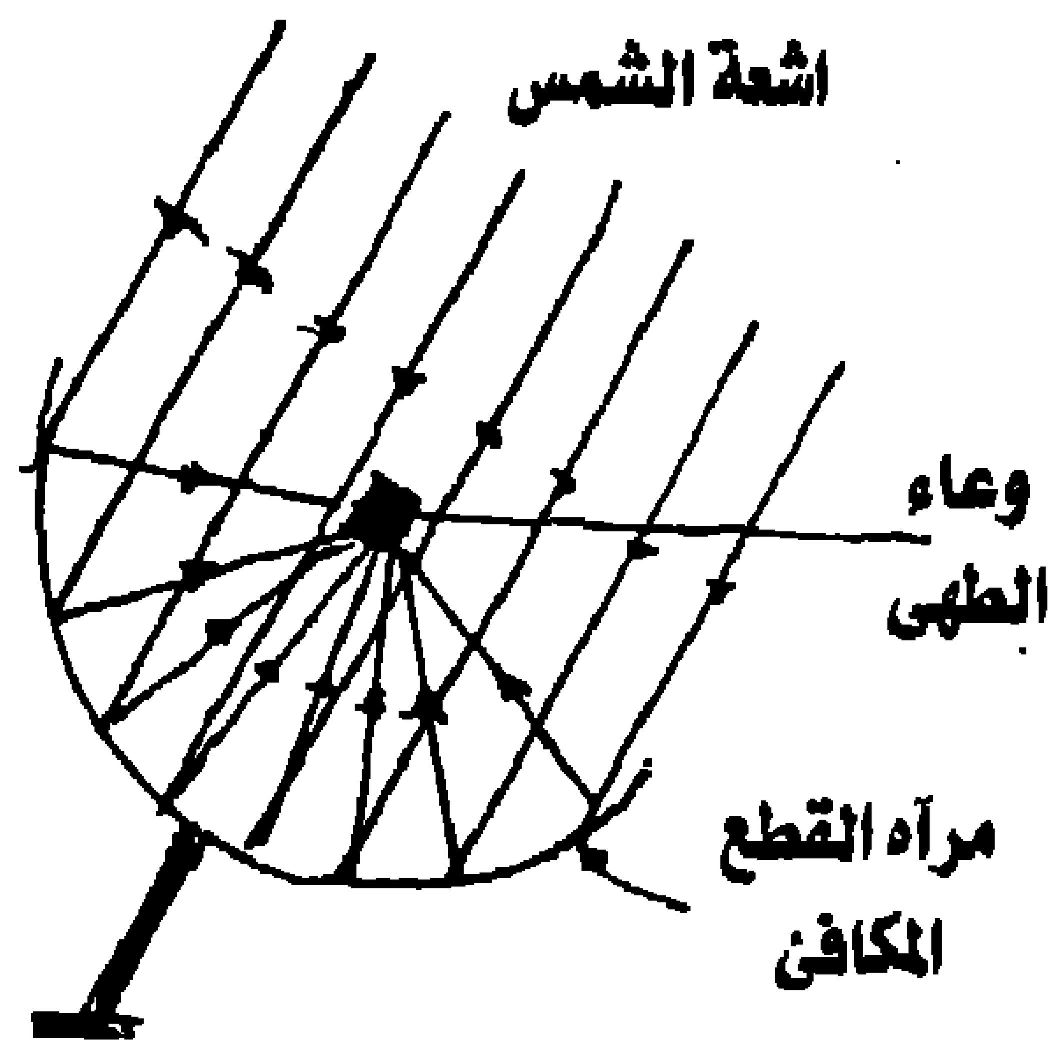
نوع تصميم الصندوق باللوح المستوى هو الأبسط من بين كل التصميمات. أقصى درجة حرارة بدون تحميل باستخدام عاكس واحد تصل حتى 160^oم. فى الفرن ذو العاكس المتعدد يتم تركيب أربع عاكسات مستطيلة أو مثلثة على جسم الفرن. الجميع يعكس الإشعاع الشمسى على منطقة الطهى حيث توضع أدوات الطهى. درجة الحرارة المنتجة هى حوالى 200^oم. أقصى درجة حرارة يمكن أن تصل إلى 250^oم، إذا تم استخدام العاكس القمعى المركب. مع استخدام المركز من نوع قرص القطع المكافئ للطباخ الشمسى يمكن الحصول على درجة حرارة حتى 450^oم حيث تكون الإشعاعات الشمسية مركزة فى نقطة بؤرية. مبدأ العمل الطباخ الشمسى موضح فى الشكل رقم (18).



أ- مبدأ الطباخ الصندوقى



ب- طباخ شمس من نوع العاكس



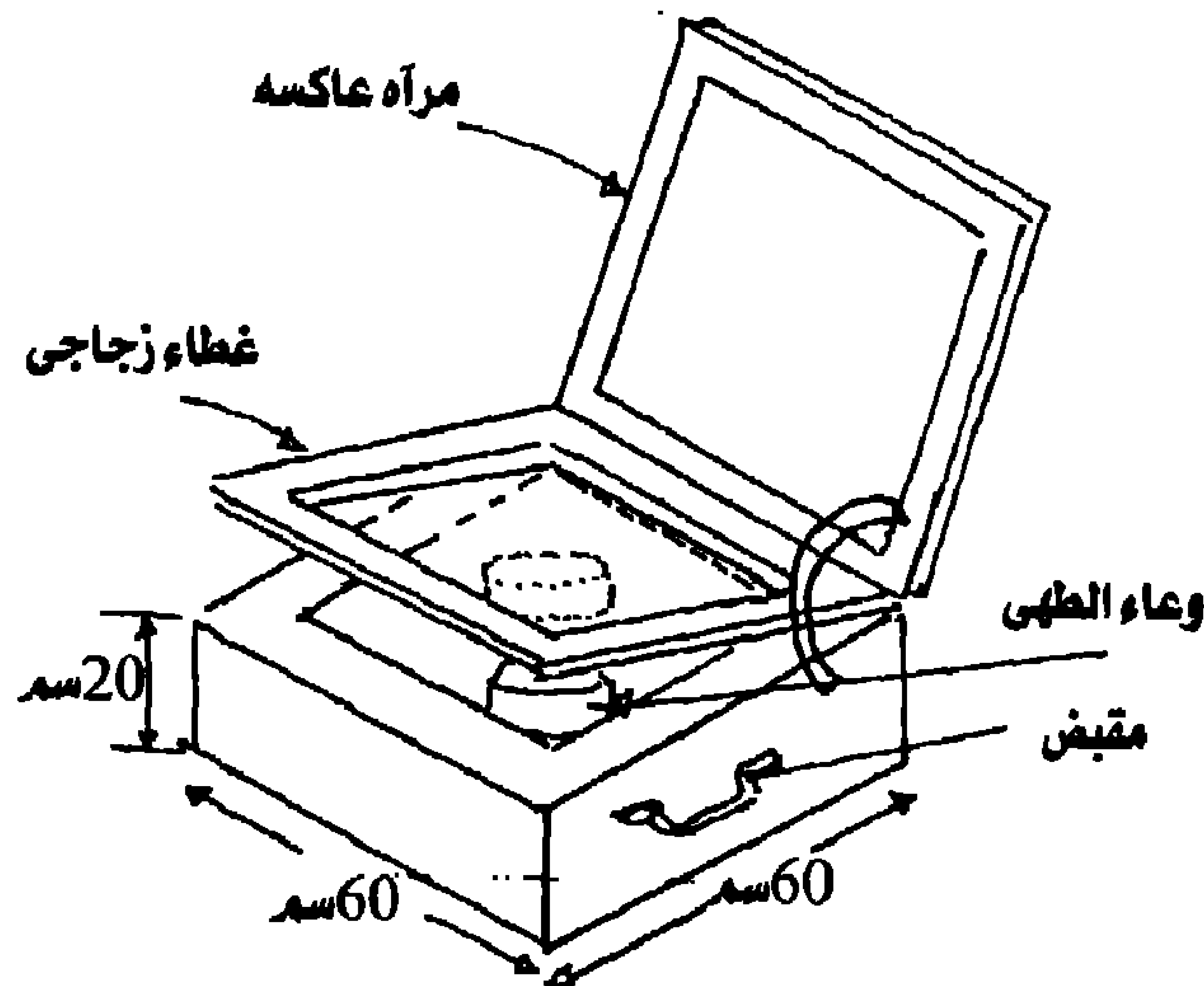
جـ- مبدأ الطباخ الشمسى من نوع المركز

شكل رقم (18/16) أ ، ب ، جـ

مبدأ التصميم وتفاصيل الإنشاء للطباخ الشمسى الصندوقى : **(Box Type)**

مبدأ العمل للطباخ الشمسى من النوع الصندوقى موضح فى الشكل (18-أ). أشعة الشمس تخترق خلال الأغطية الزجاجية وتمتص بواسطة الصانية السوداء المعدنية الموجودة داخل الصندوق الشمسى. الإشعاع الشمسى الداخل إلى الصندوق يكون ذو طول موجة قصيرة، وهى تتحلل إلى إشعاع حرارى الذى له طول موجة أعلا. لا يكون قادراً على المرور خلال الغلاف الزجاجى. الغلاف العلوى للطباخ له لوحين من الزجاج متوازيين ولذلك فإن الفقد الحرارى خلال إعادة الإشعاع يكون عند أدناه من السطح الأسود. الفقد خلال الحمل الحرارى يكون عند أدناه وذلك يجعل الصندوق محكم القفل ضد تسرب الهواء وذلك بتوفير شريط من المطاط حوله ما بين الغطاء العلوى والصندوق. المادة العازلة مثل الصوف الزجاجى، أو نشارة الخشب، أو قشر الأرز أو أى مادة أخرى يتم ملئها فى الفراغ بين الصانية السوداء والغطاء الخارجى للصندوق. هذا يقلل الفقد الحرارى بسبب التوصيل لحرارى. عند وضع هذا النوع من الطباخ فى الشمس، فإن السطح الأسود يبدأ فى امتصاص أشعة الشمس وتبدأ درجة الحرارة داخل الصندوق فى الارتفاع. أوعية الطبخ التى تكون هى الأخرى سوداء توضع فى الداخل مع مادة الغذاء، تحصل على طاقة حرارية والطعام يتم طهيه فى زمن معين طبقاً لدرجة الحرارة التى تم الوصول إليها فى الداخل. درجة الحرارة التى تم الوصول إليها تعتمد على كثافة الإشعاع الشمسى ومادة العزل المستخدمة. كمية كثافة الإشعاع الشمسى يمكن زيادتها بتوفير المرآة أو المرايا.

الشكل رقم (19) يبين التفاصيل الكاملة لنوع الطباخ الصندوق.



شكل رقم (19/16) تفاصيل لنوع الطباخ الصندوقى

الظاهرة البارزة فى الطباخ الشمسى هى أنه لا توجد ظاهرة تدفق فى التجهيزات. وهى تعمل تحت ظروف راكدة أو حالة اتزان. لذلك، فإن المعايير الحاكمة للطباخ مختلفة عن الكثير من التجهيزات الأخرى. الطباخ الشمسى يصنع من صندوق من الداخل والخارج معدنى أو خشبى وعليه لوحين من الزجاج. صيانة الماص، (الصانية السوداء) يتم طلاءها بطلاء أسود مناسب مثل طلاء داخل الغلاية. هذا الطلاء يجب أن يكون معتماً فى اللون بحيث أن يكون قادراً على تحمل أقصى درجة حرارة يمكن الوصول إليها داخل الطباخ وكذلك بخار الماء القادم من أدوات الطبخ. الغطاء العلوى يحتوى على سطحين من الزجاج كل بسمك 3 مليمتر مثبتين فى الإطار الخشبى مع حوالى 20 سم فاصل بينهم. يمكن إحكام الغطاء العلوى الكلى ضد التسرب باستخدام قفل بحلقة سقاطة (pad lock Hasp). يتم توفير لحام من مطاط النيوبرين حول أسطح الالتصاق للغطاء الزجاجى. وصندوق الطباخ. يتم توفير فتحة تنفيث لخروج البخار فى اللحام. مساحة المجمع فى الطباخ الشمسى تزداد بتوفير مرآة عاكسة مستوية مساوية لحجم الصندوق، ومتصلة بمفصلة (Hinged) على جانب واحد من الإطار الزجاجى يتم توفير آلية (دليل لضبط المرآة) لضبط العاكس عند زوايا مختلفة مع صندوق الطباخ. يتم الحصول على ارتفاع فى درجة الحرارة من 15^{o}م إلى 25^{o}م داخل صندوق الطباخ عند ضبط العاكس لعكس أشعة الشمس نحو الصندوق. فى الشتاء، عندما تكون أشعة الشمس أكثر ميلاً نحو السطح الأفقى، فإن العاكس يكون أكثر إضافة مفيدة.

الأبعاد الكلية للنموذج التقليدى هى 60 × 60× 20سم ارتفاع. هذا النوع يسمى طباخ الأسرة الشمسى حيث يقوم بطهى الطعام الجاف الكافى لأسرة من 5 - 7 أفراد.

تظل درجة الحرارة داخل الطباخ الشمسى ذو العاكس الواحد ما بين 70 إلى 110^{o}م أعلا من درجة الحرارة العادية. درجة الحرارة هذه تكون كافية لطهى الطعام ببطئ وبانتظام وبالتأكيد بمذاق لذيذ مع المحافظة على قيمته الغذائية. أقصى درجة حرارة للهواء يمكن الحصول عليها داخل صندوق الطباخ (بدون حمل) هى 140^{o}م فى الشتاء، 160^{o}م فى الصيف. طبقاً للعوامل، مثل الفصل من السنة، الوقت واليوم، ونوع الطعام وعمق طبق الطعام، فإن زمن الطهى بهذا الطباخ يتراوح ما بين ساعة وأربع ساعات. اللحوم يجب أن تظل لمدة 3 - 4 ساعة. الخضروات تستغرق من 2/1 إلى 2.5 ساعة.

كل أنواع البقول يتم طهيها ما بين 2/1 إلى 2 ساعة. الأرز يتم طهيه خلال من 30 دقيقة إلى 2 ساعة. الطهى يتم أسرع فى الصيف عنه فى الشتاء لسبب درجة الحرارة الخارجية. أفضل ساعات النهار للطهى هى ما بين 11 صباحاً حتى 2 بعد الظهر. الزمن اللازم للطهى يقل إذا تم استخدام الأوانى المعدنية ذات الغطاء المحكم والطلاء الأسود الداكن من الخارج. طبقات الطعام يتم طهيها سريعاً. الزمن اللازم للطهى يتناسب عكسياً مع مساحة المجمع.

مميزات الطباخ الشمسى من النوع الصندوق :

1- لا توجد مشكلة شياط أو حرق للطعام ولا فوران.
2- لا تكون هناك حاجة للتوجه أو تتبع الشمع.
3- ليست هناك حاجة للانتباه خلال الطهى كما فى حالة التجهيزات الأخرى.
4- لا توجد حاجة إلى استخدام وقود أو صيانة أو تكاليف جارية.
5- بسيطة الاستخدام وسهله فى التصنيع.
6- لا تلوث الأدوات، المنزل أو الجو.
7- لا يتم تلف للفيتامينات فى الطعام والطعام يكون مغذى وله مذاق لذيذ وجيد وطبيعى.
8- يمكن الاعتماد على كفاءة الطباخ لفترة طويلة.

عيوب الطباخ الشمسى هى:

1- يتم الطهى طبقاً لضوء الشمس، حيث يجب التخطيط المسبق للطعام.
2- لا يتم الطهى ليلاً أو فى أوقات السحب.
3- يستغرق وقت أطول نسبياً.

أخيراً حيث يكون هناك رغبة فى استخدام الطباخ الشمسى فإن الطباخ الصندوقى البسيط هو المناسب من الناحية الفنية والاقتصادية.

مبدأ التصميم وإنشاء النوع الصندوقى للفرن الشمسى (من نوع متعدد العواكس) (Design principle and construction of box type (Multi refrector type) .solar oven

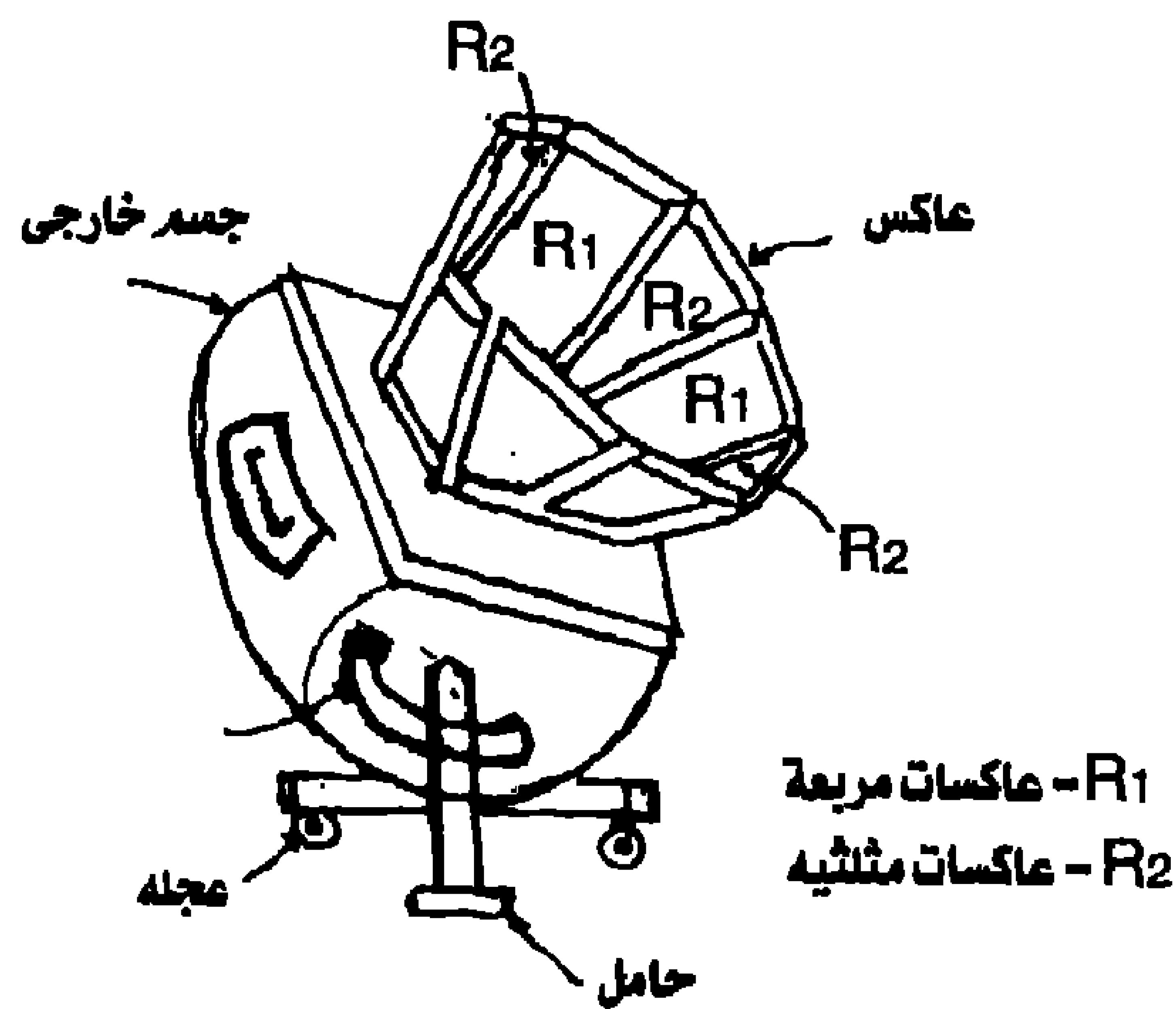
الطباخ من نوع الصندوق الساخن أو الأفران الشمسية تعتبر مثالية لأغراض خبيز العيش. الفرن المعزول له نوافذ زجاجية لتسمح بالأشعة الشمسية. لقد قام دكتور (Telkes) بتطوير فرن الذى هو صندوق معزول وله مساحة طهى 10 بوصة مربعة، الميل نحو الشمس ويتم ضبطه كل نصف ساعة مع تحرك الشمس خلال اليوم. أربع من العاكسات المائلة من الألومنيوم اللامع على أجناب الفرن تعكس الضوء إلى أسفل خلال النافذة نحو الفرن. يتم الحصول على درجة حرارة 200^{o}م وأعلا. يتم وضع وسادة عزل فوق النافذة للاحتفاظ بحرارة الإشعاع الشمسى الداخلة. يستخدم كذلك أملاح الهيدروكسيد المنصهر فى أوعية محكمة لتخزين الحرارة لفترة زمنية أطول. أداء هذا الفرن يتأثر باختلافات وضعة وبالسحب والرياح.

الشكل رقم (20) هو أحد الأفران من نوع العواكس المتعددة. هذا نوع معقد من الطباخ والذى يتكون من أجزاء كثيرة. هذا النوع من الفرن الشمسى يتكون من صندوق

معزول جيد شبه أسطوانى مصنوع من ألواح الألومنيوم (أو الحديد المجلفن) والخشب. هذا الصندوق يركب على حامل وعجل لتسهيل التحرك من مكان إلى آخر ويوجد إطار علوى مستطيل (نافذة) بحوالى 50سم^2 حيث داخلها فتحة مربعة بحوالى 35سم^2. يتم عمل غلافين والفاصل بينهم (7.5سم) يتم ملؤه بالصوف الزجاجى أو أي مادة عزل. الغلاف الداخلى يتم طلاؤه بالطلاء الأسود. باب بنفس مادة العزل يتم عمله كذلك لدخول وخروج الطعام، تتكون نافذة الفرن من غلافين من الزجاج الشفاف (بسمك 3سم) بفاصل 2سم. يتم كذلك تعليق حامل من النوع الشبكى مفككاً (Loosely) من داخل لوح البرميل المعدنى. أبعاد الحامل الشبكى هى 35سم× 17.5سم بنهايتين مستدقين بارتفاع 16سم. أوعية الطهى يتم المحافظة عليها على هذه الهزازات الشبكية (Cradles)، والتى تظل أفقية باستمرار، بصرف النظر عن الشمس، يوجد دليل ومفصلة التى تسهل تثبيت الصندوق عند أى زاوية، بحيث يمكنه تتبع الشمس العواكس الثمانية المصنوعة من مرايا الزجاج المفضضة، أربع بالشكل المربع (35 × 35× 0.3) وأربع بالشكل المثلث (35 × 25 × 0.2 × 0.3). الفرن يمكن ميله يدوياً وتوجيهه نحو الشمس.

فى الأيام الصافية، تصل أقصى درجة حرارة اللوح فى الفرن إلى 350^{o}م فى فصل الصيف، 250^{o}م فى فصل الشتاء، عمليا كل أنواع أعداد الطعام مثل الطهى، القلى، الخبيز والغليان يمكن عملها خلال من 25 إلى 75 دقيقة فى حالة السماء الصافية.

الميزة الرئيسية لهذا الفرن الشمى هى أن كفاءته عالية نظراً لأن أداءه لا يتأثر بالرياح ولا توجد فرصة لسقوط الغبار فى وعاء الطهى. كذلك فإن الطعام يظل ساخناً فى حالة وجوده بداخل الفرن لعدة ساعات حتى فى حالة عدم وجود ضوء الشمس.



شكل رقم (20/16) الفرن الشمسى

من بين الأبحاث والتجارب والاختبارات المختلفة أنواع الطباخ الشمسى، فقد وجد أن الطباخ الشمسى الصندوقى ذو العاكس الواحد هو الأرخص والأكثر كفاءة للمناطق الريفية.

الدفئية أو الصوبة أو المستنبت الزجاجى الشمسى: (Solar Green House)

مقدمة:

الصوبة أو المستنبت الزجاجى هو غرفة النمو التى توفر إمكانية إنتاج النبات خلال العام. تلك هى مجمعات شمسية مؤثرة، الهدف من بناء البيت الزجاجى أو الصوبة هو للسماح للشعاع المرئى ليتصادم مع قبة النبات (Plant canopy)، لذلك فإنه يلزم التوزيع المتجانس للشعاع الشمسى بحيث أن ظل النبات يمكنه استلام النصيب العادل من ضوء الشمس. هذا البناء بالمادة الشفافة يستخدم الطاقة الشمسية لتوفير النمو البيئى المحكم للنبات. تلك الإنشاءات يمكن كذلك توجيهها طبقاً لحاجة السكان سواء فى الريف أو المدن. الصوبة الملتصقة بالمسكن تخلق تحسن فى البيئة الطبيعية والعقلية للسكان هذا النوع من المجمع الشمسى (أو بيت الطاقة) يمكنه كذلك توفير كثيراً من الحرارة المطلوبة فى الشتاء. الصوبة سهلة الإنشاء نسبياً باستخدام تقنيات بسيطة ومواد ذات تكلفة منخفضة. بناء الصوبة أقل تكلفة عن بناء المنشأ بالعزل الكامل. وهو فى الواقع حياة فى المجمعات الشمسية التى توفر:

1- مصدر للطعام الغير مكلف وذو النوعية الجيدة حيث يمكن أن يتم النمو بواسطة الشخص.

2- مصدر لحرارة إضافية (التحكم فى درجة الحرارة) للمنزل الملتصق بها.

3- مصدر لضبط الرطوبة (التحكم فى الرطوبة) فى المنزل.

خلال فصل الشتاء فى نصف الكرة الشمالى، تكون السماء قريباً من الشمس إلى حد ما ويكون التداخل الجوى عموماً أقل منه خلال الصيف، لذلك يكون من المجدى الحصول على الطاقة الشمسية المتاحة لاستمرار نمو النبات خلال اليوم عند الليل. لسوء الحظ، فإن متوسط الصوبة يتم تصميمه بحيث أنه يفقد معظم الحرارة التى يكتسبها لتجنب التسخين الزائد خلال النهار، تاركاً أى تدفئة للفراغ للاستخدام وقت الليل. المستنبت الزجاجى الشمسى يعظم استقبال ضوء الشمس والحرارة بينما يقلل الفقد الحرارى إلى الأدنى عملياً بهدف توفير الحرارة المخزنة للاستخدام خلال وقت الليل وخلال الأيام حيث الغيوم والسحب. الصوبة توفر زراعة المحاصيل تحت بيئة محكمة. الصوبة هى منشأ مغطى بمواد شفافة التى تستخدم طاقة الإشعاع الشمسى لنمو النباتات

ويمكن أن يكون لها معدات تدفئة، تبريد وتهوية للتحكم درجة الحرارة. بيئة النبات تشير إلى:

1- درجة حرارة التربة. 2- درجة حرارة المواد. 3- رطوبة الهواء. 4- رطوبة التربة. 5- الضوء. 6- مكونات الهواء. 7- مكونات مجال الجذور. 8- الحماية من أعداء النبات. 9- التعرض إلى المطر. 10- سقوط البرد والثلج..الخ.

لقد ثبت أن القدرة على ممارسة التحكم في المناخ الدقيق للمحصول (crop micro dimate) ينتج عنه زيادة تراكمية في التمثيل الضوئي للمحصول سيكون كذلك من الممكن إنتاج غذاء حتى في تلك المناطق وفي تلك الفترات عندما تكون الزراعة الحقلية غير ممكنة. مع التحكم في مناخ موقعي - صغرى للنبات فإنه يمكن أخذ المحاصيل خلال فترات كبيرة من الوقت مقارنة للفصل العادى من السنة، لذلك يمكن الحصول على مواد الطعام الطازج مثل الفاكهة والخضروات متاحة لفترة كبيرة من العام.

يوجد اختلاف غير عادى ما بين المحاصيل التى يمكن الحصول عليها فى الصوبة وتلك فى الحقول المفتوحة، خاصة بمساعدة الطرق الحديثة للزراعة المائية لنمو النبات. ولكن، استهلاك الطاقة فى إنتاج الغذاء يزداد سريعاً مقارنة بأى صناعة أخرى، الأغذية المصنعة تحتاج طاقة أكثر للزراعة والسماد، الحصاد، والتعبئة والنقل تزيد عن محتوى الطاقة المتاحة لذلك الغذاء.

أنواع الدفئيات أو الصوبات: (Types of green houses)

الصوبة يمكن أن تكون منشأ مستقل خارج فى الحقل أو أن تكون جزءاً مكملاً للمنزل. الصوبة يمكن أن تغطى بالزجاج أو بطبقات من البلاستيك. عادة الجانب الجنوبى يكون من الزجاج بينما الجانب الشمالى يكون معزولاً. الإشعاع السماوى المعاق بالجانب الشمالى هو جزء صغير فقط من الإشعاع الكلى فى معظم المناطق.

بعض التقسيمات الكبيرة للصوبة تشمل الآتى:

1- النوع الملتصق الذى يمكن أن يكون متصلاً مع أى منشأ مناسب.

2- نوع المدخل الخارجى المسقوف (Porch type)، والذى يمكن أن يصمم كمدخل للمنزل أو المصنع أو المكتب.

3- الصوبة الحرة التى يمكن أن توضع على أى قطعة أرض.

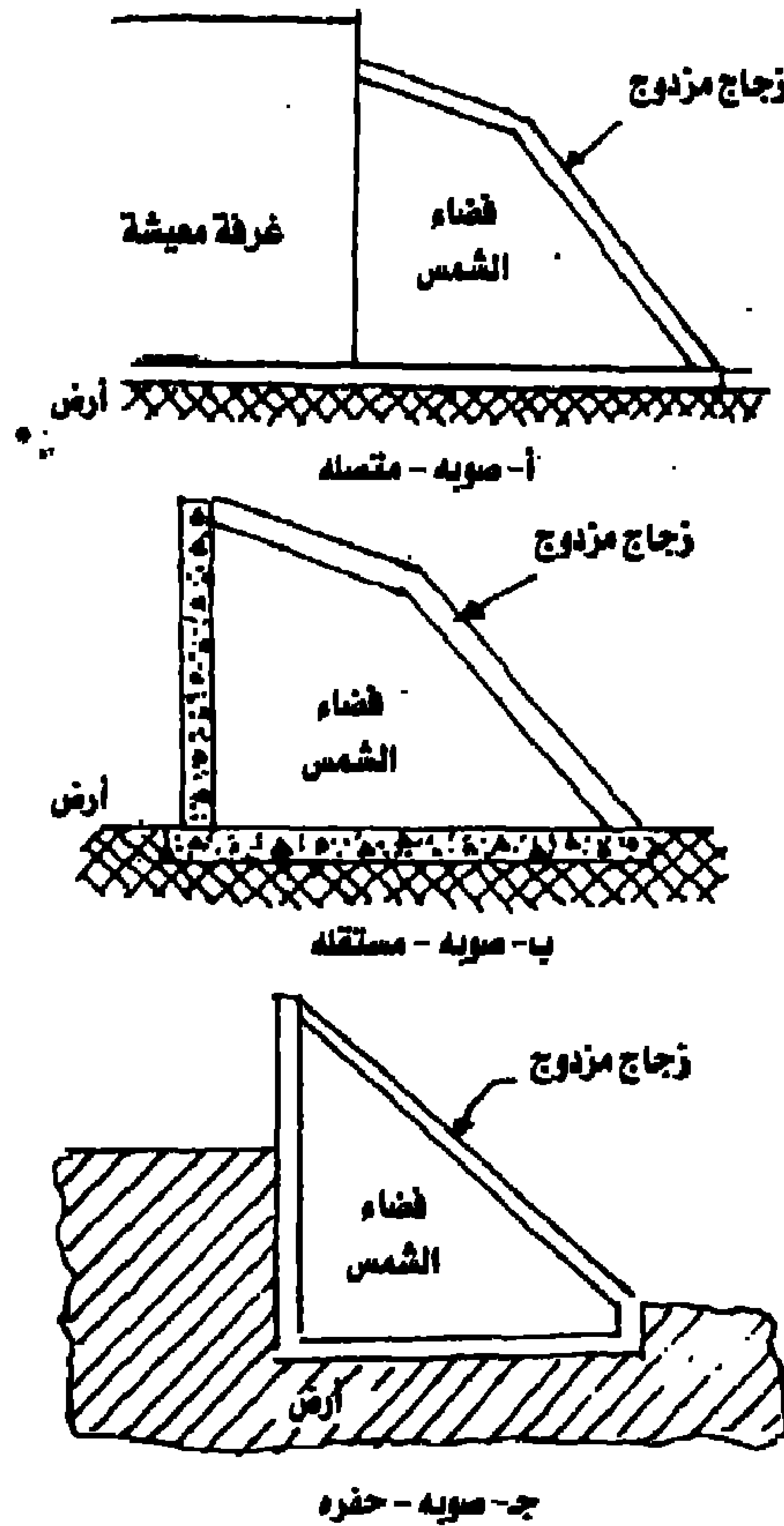
4- نوع الحفرة، المستخدمة عادة على مستوى مختلف أو ميل بغرض حجز الحرارة.

5- نوع الإطار البارد والتى هى طبقات - ساخنة أو استعمال النمو الصناعى للنبات بالأسقف المائلة.

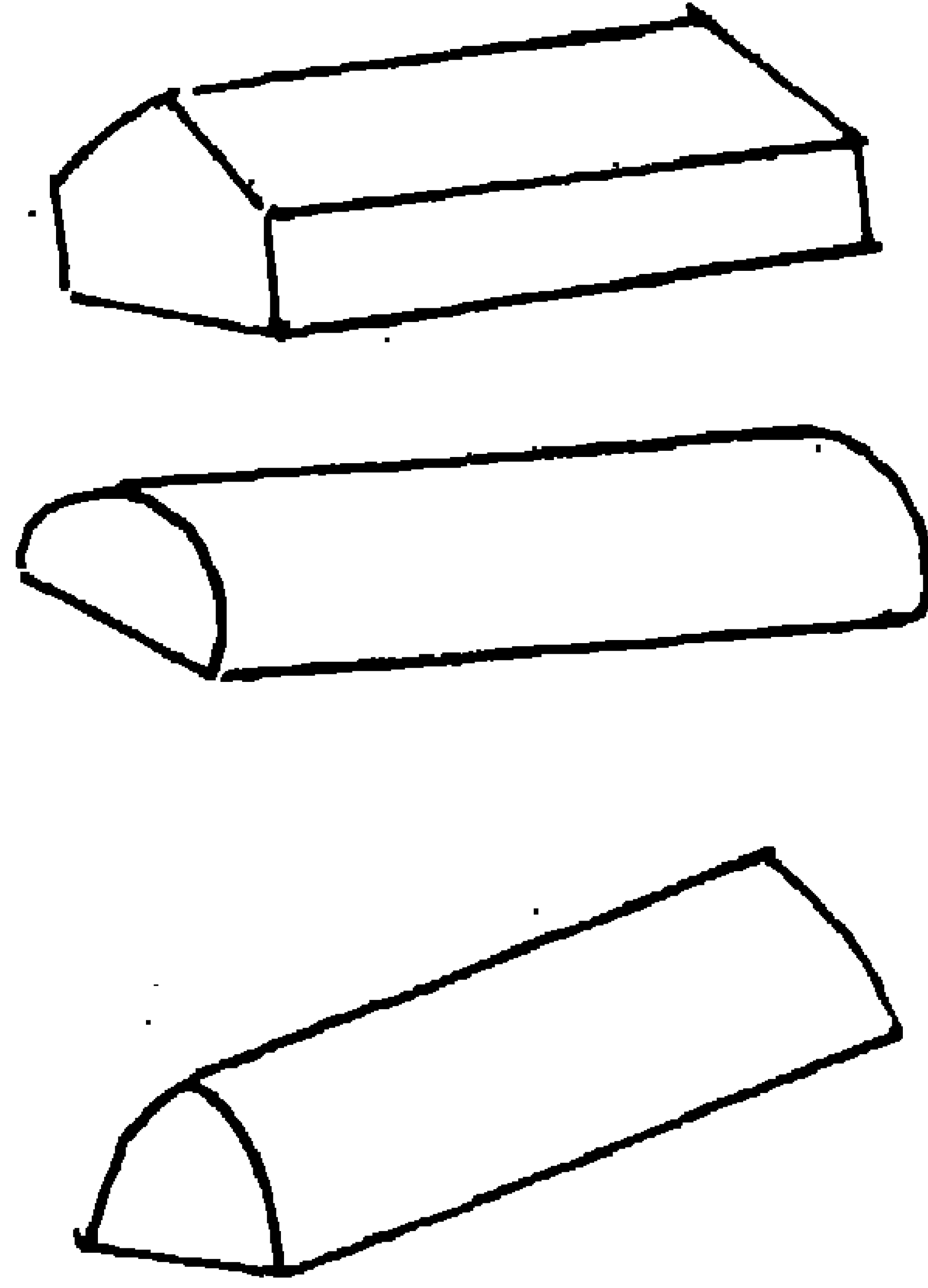
كل من الأنواع السابقة للصوبات يمكن تصميمه بطريقة الشمس الخاملة، بما يجعله جامع شمس كفؤ وتخزين للحرارة. كل تلك الأنواع من الصوبات يتم توجيهها نحو محور الشرق - الغرب ولها حائط مواجهة جنوبى وسقف شفاف. ميل السقف يتم تصميمه بطريقة مناسبة بحيث أن أقصى انتقالية للإشعاع الشمسى يمكن الحصول عليها وفى نفس الوقت يمكن استخدام العزل القابلة للإزالة بسهولة. ميل الحائط الجنوبى يتم تعيينه بحيث أن يسمح للإشعاع الحرارى الداخلى المناسب.

الصوبة من النوع الملتصق يمكن أن تكون جزءا من المنزل. وهى أقل تكلفة فى الإنشاء كإضافة للمنزل الموجود. هذا النوع له ميزة أنه يمكنه سحب الحرارة من المنشأ السابق تدفئته عند الحاجة ويمكنه عودة الحرارة الزائدة فى حالة الظروف المشمسة. فى الواقع، فى حالة بناؤه فى المكان الصحيح بالنسبة "للنوافذ والأبواب الموجودة، فإنه يمكن أن يكون مصدر حرارة جيد للمنزل.

التصميمات المختلفة لنوع الصوبة الملتصقة موضح فى الشكل رقم (21/16).



شكل (21/16) مخطط لمعظم أنواع الصوبات



شكل (22/16) أشكال لأنواع العادية للصوبات

ولكن ذلك الممتد على طول المحور الشرقى - الغربى هو الأكثر كفاءة من ناحية الشكل للتجميع الشمسى. وعادة الحائط الجنوبى للمبنى المتصل بـه الصوبة كجدار حرارى (الطوب أو الماء) ومساحة سطحه الكبيرة تكون معرضة إلى ضوء الشمس. حيثما أمكن يكون المطلوب تجويف الصوبة فى البنى بحيث أن تكون الحوائط الشرقية والغربية هى كذلك قواطيع عادية. هذا يساعد فى زيادة مساحة الالتصاق مع الفراغ المتاح. الوصلة الحرارية بين الصوبة الملتصقة والمبنى تحدد تأثير الصوبة. لذلك، فإن المساحة السطحية للجدار المشترك، سمكها، المادة ولون السطح يلزم أن يتم اختيارهم بعناية. المهمة الأولى للصوبة هى لتدفئة المبنى، ثم أخذ الحرارة منه بواسطة الوسائل الميكانيكية وتخزينها للاستخدام فى المبنى، بما يزيد من كفاءة النظام. الحرارة المأخوذة من الصوبة يتم تخزينها فى طبقة صخرية عادة موضوعة فى الفراغ تحت سقف المبنى، فى هذه الحالة فإن الحائط المشترك يجب أن يكون حائط حرارى عادى (طوب أو ماء) أو يمكن أن يكون من أى مادة. فى حالة استخدام نافذة من الزجاج، فإن المنشأ يوفر وصلة بصرية جيدة بين الصوبة والفراغ الحى. كذلك، فى هذه الحالة، فإن الصوبة يمكن أن تستقبل حرارة كافية مرتدة من المنزل.

الصوبة الحرة ومن نوع الحفرة تكون غير متصلة مباشرة مع أى مبنى أو صوبة، على الجانب الآخر، فإنها منشأ مستقل، هذين النوعين لهما حوائط معزولة على الأجناب الشمالية، الشرقية الغربية. الحوائط مصممة بطريقة مناسبة لتسمح بأقصى

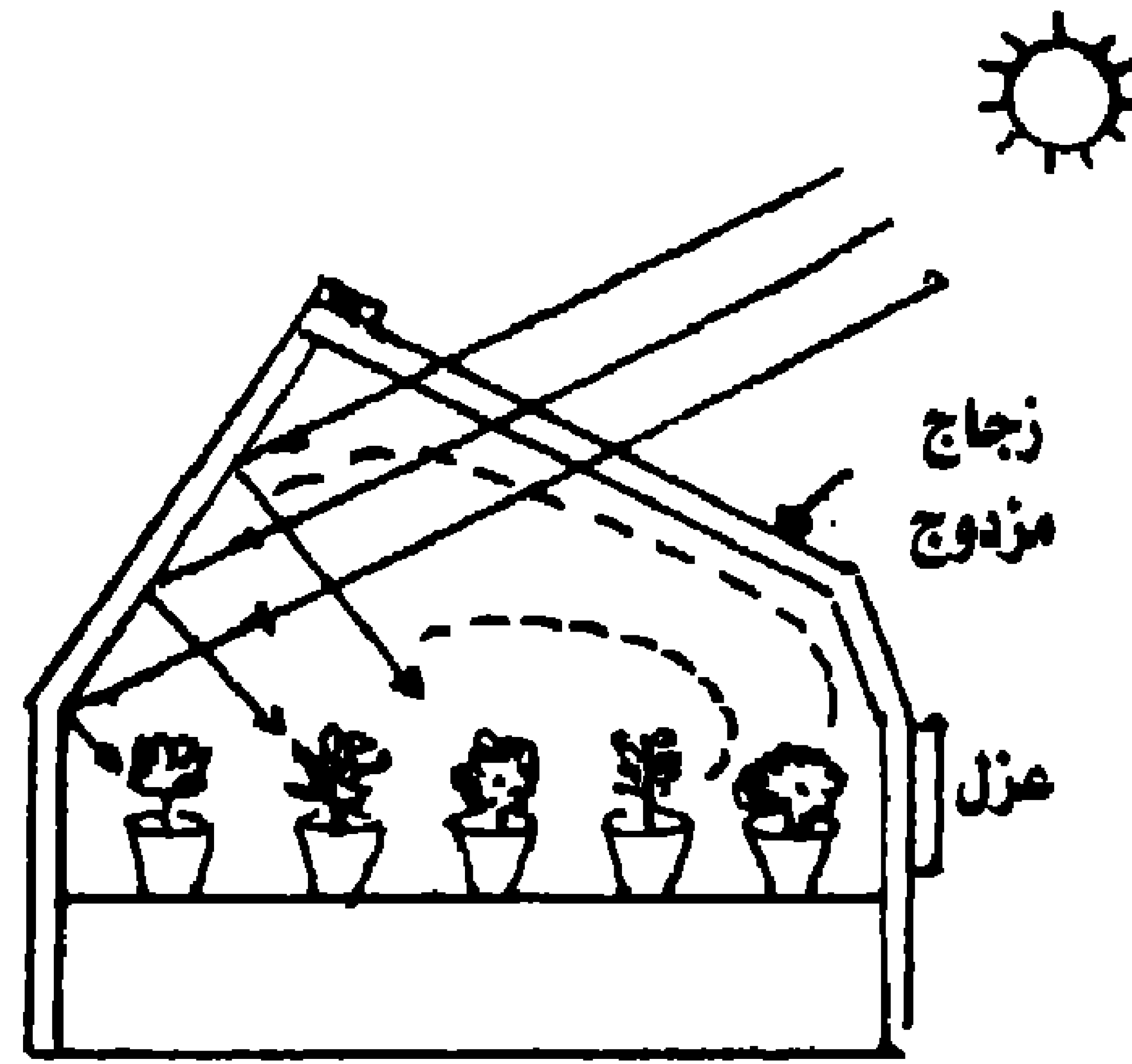
انعكاس للأشعة القادمة على قبة النبات. يتم توفير إمكانيات التخـزين الكافيـة طبقـاً للمتطلبات. نوع الحفرة يختلف عن نوع القائم الحر لكونه مغمور جزئياً. لذلك فإن لــه ميزة كونه ملتصقاً مع درجة الحرارة الثابتة لعمق الأرض.

توجد كذلك طريقة أخرى لتصنيف الصوبات طبقاً للظروف المناخية أى يمكن أن تكون:

- الصوبات الشتوية.
- الصوبات الصيفية.

أ- الصوبات الشتوية:

هذا النوع من الصوبات شكل (23/6) يتم إنشاؤه فى البلاد حيـث تكـون درجـة الحرارة العادية الخارجية منخفضة جداً مقارنة بمتطلبات نمو النبات< من الواضح أنها تستخدم لأغراض التدفئة. لذلك، فإنه يلزم الانتباه نحو اقتناص الكافى من الدفئ القـادم من الشمس، لذلك فإن الجانب الجنوبى يكون عـادة مـن الزجـاج، أحيانـاً مـزدوج الزجاجية، السطح الداخلى للحائط الشمالى يكون مطلياً بالدهان الأبيض واستخدام العزل المتحرك لمنع الفقد الحرارى الغير مطلوب، توفير إمكانيات التخزين لتلبيـة الحاجـة خلال ساعات عدم سطوع الشمس وبعض الظواهر الهامة. النوافذ يتم تجهيزها حوائط الشرق والغرب للتهوية.

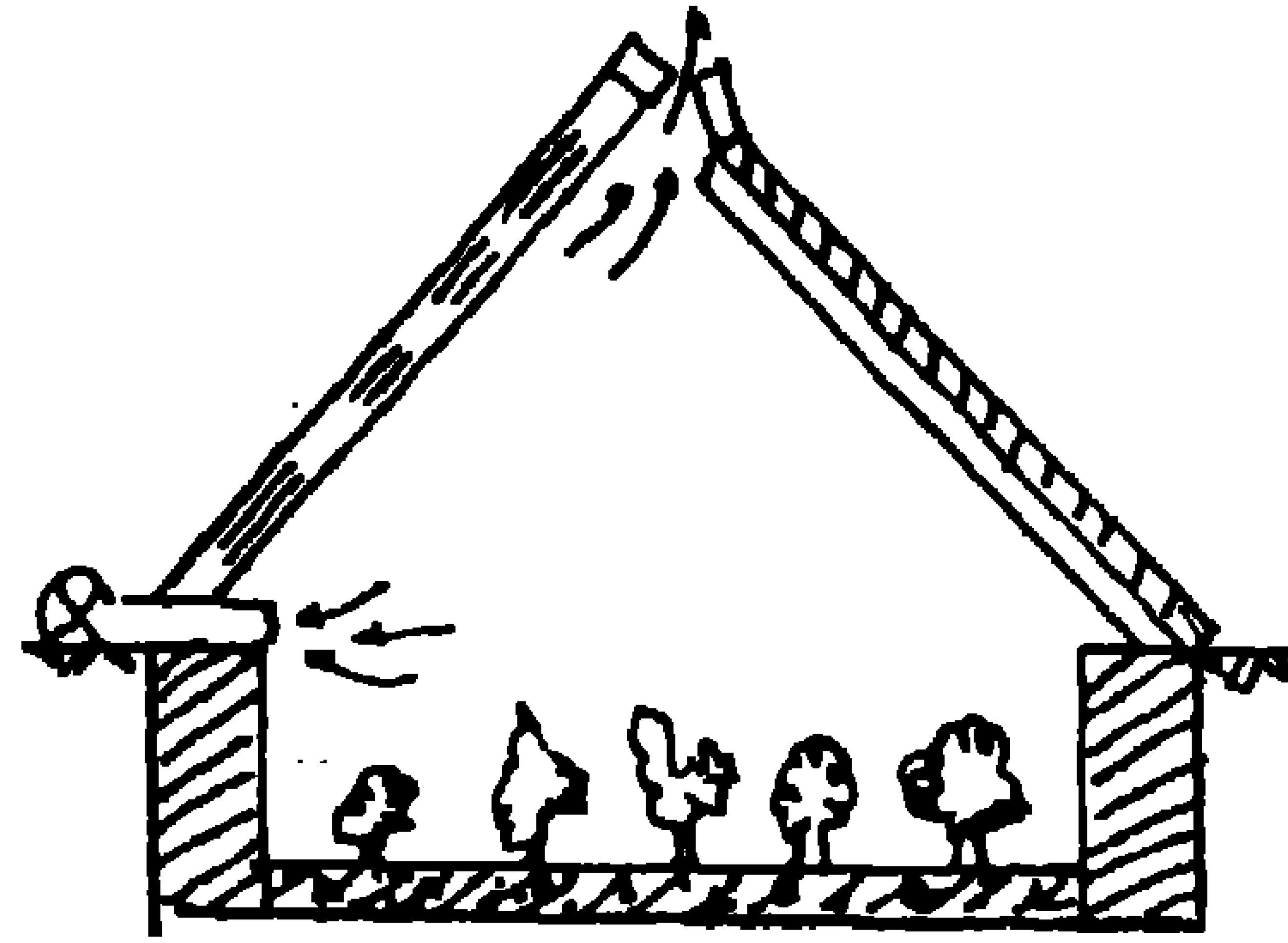


شكل (23/16) مخطط لصوبة شتوية

ب- الصوبات الصيفية:

هذا النوع من الصوبات موضح فى الشكل (24/16) وهو يوجد فى البلاد حيـث درجة الحرارة الخارجية العادية تكون عالية جداً مقارنة لدرجة حرارة نمـو النبـات،

عادة مناخ الصيف يتصف بارتفاع درجة الحرارة العادية، السماء الصافية والرطوبة المرتفعة. لذلك فإنه يتم تصميم الصوبة، بحيث أن درجة الحرارة الداخلية قد لا تصل إلى الارتفاع العالى. عادة هذا النوع من الصوبات له مجموعتين من النوافذ موضوعين فى حائط الشمال والجنوب. تلك النوافذ يمكن استخدامها لتبريد الصوبة بالحمل الحرارى الحر. طريقة أخرى هى يعمل ماسورة للنوافذ فى الجدار الجنوبى الذى خلاله تهب الرياح بعد أن يتم تبريدها بالتبخير بالمرور خلال وسادات التبخير. كذلك الحائط الجنوبى يكون مغطى بعزل قابل للتحرك، بينما الإشعاع المطلوب يمكن دخوله خلال حوائط الشرق والغرب. داخل الحائط الشمالى عادة يكون مغطى بطلاء عاكس.



شكل (24/16) مخطط لصوبة صيفية

معايير نمو النبات:

عموماً، توجد معايير مختلفة تؤثر على نمو النبات، ومناقشتها سوف تساعد على تحليل التصميم لإنشاء الصوبة.

1- الضوء: الضوء من الأساسيات المطلوبة فى نمو النبات، عند كثافة ضوئية حوالى 16500 وحدة إضاءة لوكس (lux)، حيث لوحظ النمو الجيد للنبات ولكن النباتات تنمو جيداً عند كثافات ضوئية 27500 لوكس (فقط ربع إجمالى ضوء الشمس)، النباتات وجد أنها تستخدم فقط الطاقة الإشعاعية فى الجزء المرئى والقريب من المرئى للطيف.

2- درجة الحرارة: فى البيئة المحكمة تنمو النباتات عند درجات حرارة ما بين 10، 25^{o}م.

3- درجة حرارة التربة: لمعظم النباتات، درجة حرارة التربة من 20 إلى 25مْ ثبت أنها المفضلة درجة الحرارة هذه تحدد قدرة النبات على امتصاص الماء

من التربة نظراً لأن انخفاض درجة حرارة التربة ثبت أنها خطيرة ومدمرة للنباتات الصغيرة. درجات حرارة التربة المرتفعة يوصى بها للنباتات الجذرية أو بذور الإنبات.

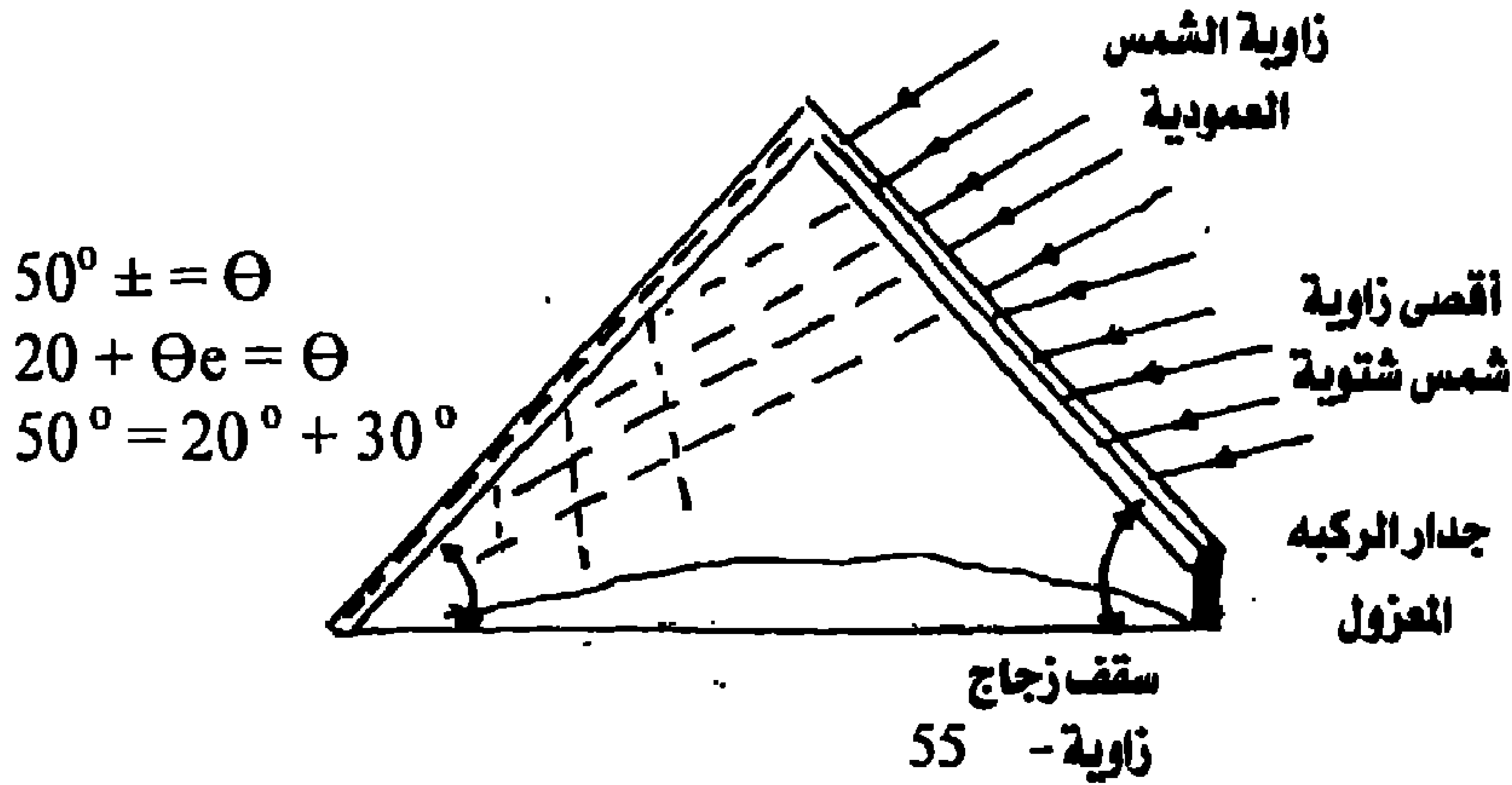
4- حركة الهواء: حركة الهواء تؤثر على التنفس، تبخر الماء من التربة، ووفرة ثانى أكسيد الكربون..الخ. هذا بسبب تغير فى حجم الورقة، واعتبارات أخرى لنمو النبات. فى نمو النبات، عند سرعة 0.8 إلى 2 سم/ث ثبت أنه الأفضل لنمو النبات.

5- الرطوبة: الرطوبة تؤثر على نمو النبات بشدة حيث القيم المنخفضة وكذلك المرتفعة قد تجعل النبات أكثر عرضة للأمراض بسبب الكائنات الممرضة، الرطوبة العالية تنتج نباتات عالية. الرطوبة المخفضة تسبب زيادة فى معدل البخر ولذلك تكون هناك حاجة زائدة للماء. فى كثير من نظم نمو النبات فإن الرطوبة ما بين 55 و65% عند درجات حرارة 21مْ إلى 25مْ يتم المحافظة عليها.

مبادئ التصميم:

التوجيه:

فى حالة بناء صوبة ملتصقة نحو جدار مواجهاً الجنوب فى نصف الكرة الشمالي عند خط عرض أكبر من ذلك لمدار السرطان (23° 28′ شمال وضع الشمس إلى الشمال من فوق الرأس) فإنها سوف تستقبل معظم ضوء الشمس المتاح أكبر من الحرارة التى سوف تسقط على صوبة حرة غير معاقة. أكبر مكون لحزمة الشعاع المباشر الأكثر قيمة سوف تكون دائماً تخرج من الجنوب وفقط نصف الإشعاع السماوى المنبعث من الجنوب والأقل قيمه سيكون مفقوداً. عندئذ سوف يكتسب المسكن حاجز حرارى وحماية من الرياح الشمالية. إذا كان الحائط المواجه للجنوب مغطى بالطلاء الأبيض، فإنه سوف يعكس ضوء الشمس إلى منطقة النمو عند مؤخرة الصوبة، بما يمكن محاصيل معينة لتنتج مبكراً عن حالة الصوبة ذات الاستقامة الحرة، فى حالة طلاء الجدار المواجه للجنوب باللون الأسود، فإنه سوف يمتص فى الحال إشعاع أكثر ويعكس القليل (يعمل كخزان حرارة والذى عندئذ يعطى الحرارة المخزنة ببطئ إلى الصوبة).، النمو المتضمن زراعة الفاكهة أو الحاصلات الجذرية يمكن أن يكون الطلاء المواجه للحائط لجنوبى باللون الأبيض لزيادة توفر الضوء، مع النباتات الخضراء، هذا يمكن عدم اعتباره أنه مهم بسبب توفير التخزين الحرارى.



شكل (16/25) الصوبة الشمسية أكبر ميل للتوجيه (30°N)

شكل الصوبة الحقيقية الشمسية الفعال هو غالباً يتحدد ذاتياً، ولكن يتغير طبقاً للمكان وظروف الجو. القانون النظرى المفيد الذى لا يتطلب حسابات ذات متغيرات عديدة هو ببساطة بإضافة 20° فقط لمكان خط العرض لتعيين ميل السقف المطلوب، فمثلاً، عند 30° شمالاً فإن زاوية السقف للأرض سوف تكون 50°. إذا كان هناك يوم مشمس نقى سائد خلال الشتاء، عندئذ فإنه ليس من الضرورى نظرياً عملية الضبط، ولكن إذا كان السائد هو أيام السحب فى الشتاء فإن الزاوية سوف تكون أقل قليلاً فى الميل للاستفادة من انتشار الشعاع من السماء. نظراً لأن زوايا السقف شديدة الميل تؤدى إلى صعوبة وارتفاع الإنشاءات، لأغراض عملية، يكون من المفضل إضافة فقط 10°إلى المكان أو إذا كان هناك قيود فى الإنشاء، فإن ميل السقف لا يقل عن ذلك لخط عرض المكان. لتقدير إعاقات المكان، فإن احتمالات ضوء الشمس باستخدام Protractor يتم استخدامها (وهى منحنيات قياسية التى يمكن منها تقدير احتمالية ضوء الشمس).

مثل أى مجمع شمسى آخر فإن الصوبة الشمسية يتم توجيهها فى الاتجاه الشمالى، ولكن الحيود من الجنوب الحقيقى يمكن قبوله عموماً ولنمو النبات يمكن أن يكون مطلوباً. نظراً لأن ميول السقف للصوبة الشمسية هى عموماً أكثر حدة ميل عن ميول السقف للمنازل المسكونة، فإن الحيود من الجنوب الحقيقى يمكن أن يكون عند 20°، الحيود حتى 45° سوف ينتج فيما لا يزيد عن 20% خفض فى إجمالى الإشعاع اليومى.

يوجد حوار للتوجيه فى الاتجاه الجنوبى – الشرقى الذى سوف يسمح للصوبة لزيادة الاستفادة من شمس الصباح الباكر، خاصة مباشرة بعد ليل الشتاء الطويل البارد وحيث المكان يبدو فيه الصباح النقى. لذا فإن كثيراً من عوامل المناخ ومختلف طبيعة

المحاصيل يمكن أن تؤثر على مكان الصوبة حيث من المهم للمستخدم دراسة المناخ لتوفير الحماية من الرياح السائدة، وكذلك التأكيد إذا كان الشعاع المنتشر أو المشتت يشكل جزء كبير من الإشعاع الكلى المتاح، وما إذا كان من المفضل استخدام حوائط معزولة معتمة فى الركن الشمالى لتحسين الإضاءة النهارية أم الركن الجنوبى يمكن عندئذ تزجيجه (Glzed) لتعظيم التجميع لإشعاع الشمس الشتوية.

حوائط الطرف /النهاية: (End Walls):

حوائط الطرف/ النهاية جنوب – شرق أو جنوب – غرب يجب أن تكون دائماً مزججة، تزجيج الحوائط الشرق – الغرب يمكن أن يسمح للضوء نحو الجنوب المزجج للمرور مباشرة وبذا يوجد حوار حول عزل تلك الحوائط.

الموقع: (Site)

يبدأ التصميم باختيار الموقع المناسب للمكان، من الضرورى معرفة كيف أن الشمس تتحرك خلال السماء عند ذلك المكان. عند الجمع مع بيان المناخ المحلى، فإن دراسة ممر الشمس يمكن أن يعطى متى وأين يمكن أن تكون الشمس محققة للدفئ. ذلك سوف يساعد كذلك فى تقرير متطلبات تخزين الحرارة، العزل وإمكانيات التظليل.

التزجيج (Glazing):

يلزم توفير طبقتين أو أكثر من الزجاج فى المناخ البارد. إذا كان هناك استخدام للعازل المتحرك ليلاً يمكن استخدام طبقة واحدة من الزجاج. الزجاج هو المادة الأكثر استخداماً ولكن للتزجيج يمكن استخدام الصوف الزجاجي، البولى إيثيلين، الأكليريك، وكذلك البولى كاربونيت.

التهوية: (Ventilation)

التهوية الجيدة مطلوبة لنجاح عملية الصوبة، قد يلزم تغيير الهواء الداخلى كل ساعة، أو أكثر تحت بعض الحالات للمحافظة على جفاف النبات بما يكفى للحماية من عدوى الخمائر والفطريات. الهواء الخارجي يمكن إدخاله نحو الداخل خلال مواسير هواء عند عمق 2.5 – 3 متر تحت سطح الأرض بحيث أن مساحة النمو سوف يحدث لها الدفئ فى الشتاء والبرودة فى الصيف، صرف العادم (vent) إلى الخارج يمكن استخدامه فى المناخ الحار.

زيادة المكسب الشمسى: (Increasing Solar Gain)

زيادة الأشماس ممكن بطرق كثيرة، أحد هذه الطرق هى بتوفير مغلاق عزل خارجى الذى يقلل الفقد الحرارى من الصوبة، وبذا يزيد من المكسب الشمسى. المكسب

الشمسى يمكن زيادته كذلك عند الطلاء الفضى للسطح الخلفى للصوبة بسطح عاكس، والذى سوف يعمل كمرآة تقوية وبالتالى يمكن زيادة المكسب الشمسى. إطار الحائط الجنوبى يمكن كذلك طلاءه بواسطة طلاء أبيض عاكس لعكس الإشعاع الشمسى نحو الصوبة.

تخزين الحرارة: (Heat storage)

تخزين الحرارة الشمسية للاستخدام فيما بعد له أهمية كبيرة بالنسبة للصوبة. عند توفر شمس الشتاء، فإن استخدام حوائط ضخمة، أرضية يمكن أن يكون كافياً للتخزين. للمناطق ذات ضوء الشمس المنخفض شتاءاً يمكن توفير تخزين حرارى على بعد. فى هذا المجال، استخدام المياه هو المناسب عادة. براميل المياه، الصفائح، الجراكن، التربة الرطبة..الخ تستخدم لهذا الغرض.

بيئة الصوبة والتحكم: Green House Environment and Control

مخطط للتفاعل البيئى للصوبة موضح فى الشكل رقم (21) زجاج الصوبة يعمل كمرشح إشعاع انتقائى بمعنى أن الإشعاع الشمسى يمكن أن يمر خلاله ويدخل إلى الصوبة ولكن الإشعاع الحرارى المنبعث بواسطة الأغراض خلال الصوبة لا يمكنه الخروج. هذه الظاهرة ينتج عنها احتجاز الإشعاع خلال الصوبة كما يلاحظ ارتفاع درجة الحرارة، هذا التأثير تحديداً يسمى تأثير الصوبة وهو المبدأ الأساسى لكل مجمعات الحرارة الشمسية، مضاعفة التزجيج يقلل من فقد الحرارة من الصوبة، ولكنه يقلل كذلك من كمية الضوء الداخل إلى الصوبة، كل طبقة إضافية من الزجاج سوف تقلل من انتقال الضوء بحوالى 13%. من الواضح أنه يوجد أقصى سمك لتعدد الطبقات والذى يعتمد على المادة المستخدمة وشدة المناخ وتكلفة الإنشاء.

الحائط المقفل لمنشأ الصوبة يعيق كذلك خلط هواء الصوبة مع الهواء العادى، بذا يقلل التبادل الحرارى بالحمل الحرارى هذا له تأثير إضافى حيث يزيد من احتجاز الحرارة الشمسية خلال الصوبة. هذا هوة الغلاف المغلق للصوبة والذى يسمح بزيادة ثانى أكسيد الكربون فى هواء الصوبة.

الأبحاث المبكرة لتقنيات الصوبة قد تمت فى مناطق ذات مناخ بارد. لذلك، كان الانتباه موجهاً فى معظمه لتوفير متطلبات تدفئة الصوبة، التأثيرات الحالية فى تبريد الصوبة هى موجهة فى تطوير نظم التبريد الاقتصادية للتبريد بالتبخير. لقد لوحظ أن الصوبات قد أظهرت استخدام مؤثر للمياه لإنتاج المحاصيل، أى أن كمية المياه المطلوبة لإنتاج كمية معينة من الغذاء أقل من تلك اللازمة للزراعة فى الحقل العادى المفتوح.

التأثير يمكن شرحه بالطريقة الآتية:

زراعات الصوبة تنتج (ترتشح) والرطوبة تنتشر من النبات إلى هواء الصوبة مع الاستمرار فى رفع رطوبة هواء الصوبة ذلك بسبب محدودية خلطه مع الهواء الخارجى. الرطوبة المرتفعة لهواء الصوبة بالتالى تقلل من النتح ذلك أن عملية النتح هى دلالة مباشرة للتدرج فى الرطوبة بين خلايا النبات والهواء. الفقد فى خفض الرطوبة يسبب إعادة النتح لم يتم ملاحظته أنه يؤثر بالسلب على نمو نبات الصوبة. الرطوبة فى الصوبة هى رغم ذلك غير مسموح لها بالارتفاع فوق حدود معينة لأحكام التأثيرات الغير مرغوبة للكائنات الدقيقة الممرضة. من الواضح، أن فراغ الصوبة يتمتع بعملية أحكام المناخ بسبب الغلاف، تأثير الصوبة، انخفاض تدوير الهواء إلى الحد حتى أن الإنتاج التجارى للغذاء يمكن تحت حالات المناخ السيئة.

الأحكام البيئى للصوبة يلزم توفره، حيث أحكام حالة ما قد يؤثر على المعيار البيئى الآخر، لذلك يكون المطلوب تطوير حزمة من الأحكام التكاملى، المعايير المختلفة لبيئة هواء الصوبة مع بيان بعمليات التحكم موضحة فى الجدول التالى:

جدول المعايير البيئية وأداء التحكم

المعايير البيئية	أداء التحكم	المعيار المؤثر على نمو النبات
الإشعاع الشمسى	تهوية	إعاقة الضوء
درجة حرارة البصيلة الجافة	التدفئة/ التبريد	درجة حرارة النبات
درجة حرارة البصيلة الرطبة	رش الماء	تدرج الرطوبة
تركيز CO_2	تدوير الهواء وإثراؤه	تدرج CO_2

بيت الصوبة مثل أى مبنى أو منشأ يفقد معظم حرارته بالتوصيل خلال الغلاف، من تسربات الهواء خلال الشقوق بالحمل الحرارى. لذلك، فإن غلق النوافذ والأبواب يجب أن يكون محكماً وأفضل من المتبع فى المبانى والمنشآت العادية. ليس مثل المبانى التقليدية، فإن الصوبة تميل لتكون أكثر عرضة وأن معدلات تسرب ودخول الهواء يمكن أن يكون أعلا كثيراً فى حالات ضغوط الرياح. المعدلات العالية لتسرب الهواء تسبب حركة للهواء غير مطلوبة خلال الصوبة، الذى يزيد من تبخر مياه التربة والذى بالتالى يمكن أن يؤدى إلى التكثف على الزجاج، مع زيادة تالية فى الفقد الحرارى وخفض فى انتقال الضوء، العزل الجيد المؤثر للصوبة له أهمية بالغة نحو التحكم فى بيئة الصوبة.

يجب توفير عزل الطرف الأرضى فى أى صوبة والذى يعمل على المحافظة على الطاقة. الصوب الموضوعة على كمرات الخرسانة بدون عزل الطرف تفقد حرارة تزيد عن تلك الموضوعة مباشرة على التربة.

الفقد بالإشعاع فقط عادة ليس عاملاً هاما، عدا فى حالة استخدام البولى إيثيلين بدلاً من الزجاج، الطريقة الواضحة لخفض الفقد الحرارى هى بقطع كمية التزجيج (الصقل)، ولكن الطريقة العملية هى بتطوير طرق بناء الزجاج وحجز الحرارة. فى المناخ المعتدل يجب استخدام التزجيج المزدوج، ذلك لأن هذا ينصف الفقد الحرارى خلال التزجيج. عند تصميم الصوبة الشمسية، حيث تم خفض الفقد الحرارى إلى أدنى قيمة اقتصادية، فإن تنظيم الرطوبة دلالة هامة بتدفئة وتهوية النظم. فمثلاً، إذا كانت درجة الحرارة الداخلية والرطوبة النسبية ستظل عند 19^{o}م و75% مع الظروف الخارجية عند 10^{o}م، 90% فإنه سوف يكون هناك إزالة للرطوبة مع كل متر مكعب من الهواء المستهلك. مع انخفاض مستوى الرطوبة فى الجو، فإن الإزالة الكاملة للرطوبة سوف يكون لها تأثير سيئ على حالة التربة عدا فىحالة إضافة الرطوبة لتوفير حالة الاستقرار. فى وقت الليل درجة حرارة الجو عادة تقل والرطوبة النسبية الداخلية قد تزداد إلى 90%. تكثيف بخار الماء الزائد من المحتمل عندئذ أن يحدث على كل الأسطح الباردة، مثل الزجاج وقوائم التحميل الإنشائية الغير معزولة. نقط التكثيف على النباتات والتربة يجب تجنبها لما تسببه من تلف. قنوات صرف التكثيف يجب تضمينها ضمن التصميم الإنشائى للصوبة.

طرق تدفئة الصوبة المستخدمة عامة هى:

1- تدوير البخار أو الماء الساخن.

2- تدفئة الفراغ بالهواء الساخن.

الطريقة الأولى قد تكون أكثر تكلفة للإنشاء مقارنة بالثانية، ولكن الثانية توفر ميزة إضافية لتوزيع الهواء بطريقة أفضل كما فى حالة خلال الأنابيب المثقبة.

المعادلة التقريبية الآتية يمكن استخدامها لتقييم متطلبات التدفئة المحتملة: كمية الحرارة المطلوبة لاستمرار درجة حرارة معينة خلال منشأ الصوبة مقدراً بالكيلو كالورى/ الساعة

= 6.8 × مساحة الحائط الزجاجى واسقف (متر مربع) × الارتفاع فى درجة الحرارة المطلوب أعلا من درجة الحرارة الخارجية 5^{o}م .

خلال الصيف فإن تراكم الحرارة يمكن أن يكون كبيراً إلى حد أن فتح النوافذ والأبواب فقط لا يمكنه خفض درجة الحرارة الداخلية بما يكفى، عدا فى حالة وجود

وسائل ميكانيكية مساعدة للتهوية، النمو يمكن أن يزيل حوائط التزجيج لطرد الحرارة الزائدة. الحرارة الزائدة وبالتالى درجات حرارة الهواء المرتفعة لها تأثير سئ على المحصول ونوعية الحاصلات. ارتفاع درجة حرارة الصوبة أعلا من المستوى المطلوب يجب أن يكون محدوداً بحوالى 4مْ هذا قد يتطلب التهوية والتى تتم باستخدام المراوح.

لأداء عملية التمثيل الضوئى الجيدة فإن تركيز CO_2 المناسب فى الصوبة يعتبر أساسى. إثراء مستويات CO_2 قد يزيد إنتاج محصول الطماطم كثيراً، ولكن مهما كان المحصول فإن الإثراء يعتبر ضرورى خلال ساعات ضوء النهار فى الشتاء عندما تكون معدلات التهوية عند أدناها. الحالة الثانية لتركيز CO_2 يجب أن تكون حوالى 300 جزء فى المليون، ولكن نمو النباتات سوف يقلل سريعاً من هذا المستوى والذى يمكن تحقيقه بالتحكم عند حوالى 1000 جزء فى المليون، الطريقة المحببة لإضافة CO_2 هى بحرق البارافين ذى المحتوى المنخفض من الكبريت.

التبريد بالتبخير (Evaporative cooling)

طريقة التبخير لتبريد الصوبة استخدمت لسنين عديدة فى الأيام الحارة عندما يكون هناك فرق كبير ما بين درجات حرارة البصيلة الرطبة والبصيلة الجافة. نظراً لأن درجة حرارة البصيلة الرطبة (وليس الرطوبة النسبية) تحدد درجة الحرارة التى عندها يمكن تبريد الهواء فقط بتبخير الماء، فإن المعلومات عن بيانات الأرصاد الجوية متضمنة متوسط قراءات البصيلة الرطبة (Wet Bulb) يعتبر أساسى. نظام الوسادة المبتلة "Wetted Pad" للتبريد بالتبخير يستخدم على نطاق واسع، ولهذا تستخدم مادة شعيرات فى شكل خلايا السيليلوز الخاصة المخددة ذات التحميل الذاتى والتى تظل مبتلة بتدوير الماء خلالها، وبذا يتم تبريد الهواء القادم إلى مقدار 1.5 إلى 2^{o}م لدرجة حرارة البصيلة المبتلة للهواء الخارجى. نظام الوسادة يوزع كذلك الهواء بانتظام، طبقاً لمقاومتها، تتجنب اضطراب تدفق الهواء وتسلم التدفق المنتظم للهواء البارد فى الصوبة. وحدات نظام الوسادة يتم وضعه على الحائط الجانبى للصوبة الذى يواجه الرياح السائدة خلال الصيف، عادة ممتد إلى حوالى نصف طول الصوبة. فى حالة الإنشاءات الطويلة جداً، تكون الوسادة موضوعة مركزياً وعند مستوى منخفض نسبياً بحوالى 0.5متر تحت الركبة لارتفاع الحائط، تحسين تقنية مضخة الحرارة قد يحسن من وسائل استخلاص الحرارة والتبريد مع الظاهرة المرغوبة بالنسبة لإزالة الرطوبة.

المواد: (Materials)

الخشب، الألومنيوم، الصلب تلك هى المواد المحببة بالنسبة لإطار الصوبة، الإطارات الخشبية المعالجة بالمواد الحافظة يمكن أن تستمر لمدة 5 - 10 سنوات. الزجاج هو أكبر مادة للتزجيج والصقل حتى وجود طبقات البلاستيك النقية الرائقة والألواح منذ حوالى 30 عام صقل الزجاج يتطلب استثمارات أولية عالية وفرص التسرب تزيد مقارنة باستخدام البلاستيك. كذلك، التسرب فى البيوت الزجاجية يزيد مقارنة بالبيوت من البلاستيك. لذلك، فإن التحكم البيئى فى بيوت الصوبة من البلاستيك ذو تأثير أكبر، مادة البلاستيك العادية المستخدمة فى الصوبة تكون مقاومة تماماً للأشعة فوق البنفسجية، وهى طبقة البولى إيثيلين (مقياس 500-1000). تلك الطبقات يتم استبدالها خلال عام أو عامين طبقاً للمناخ المحلى. الإطارات النقية من البلاستيك مثل الصوف الزجاجى المعرج يمكن استخدامه فى تزجيج الصوبة لمدة 20 عام. إن أهمية ترشيد الطاقة فى الصوبة يشجع التطوير لمواد بلاستيك جديدة.

الملاحظات الختامية:

توجد الصوب فى جميع أنواع حالات المناخ. الآن الصين هى الرائدة بما لها من أكبر مساحة التى تزيد عن 120.000 هكتار تحت الزراعة المغطاة، اليابان الثانية بما لديها 80000 هكتار – هولندا وإسرائيل هما المصدرين لمنتجات الصوبة من الناحية الاقتصادية فإن العائد لوحدة مساحة الأرض أعلا عدة مرات فى حالة الزراعة بالصوبات مقارنة، بالزراعة التقليدية، إنتاج الصوبة غير مرتبط بالمتغيرات المناخية والإنتاجية العالية للصوبة يمكن اعتبارها مصانع للغذاء.

الفصـل السابع عشر

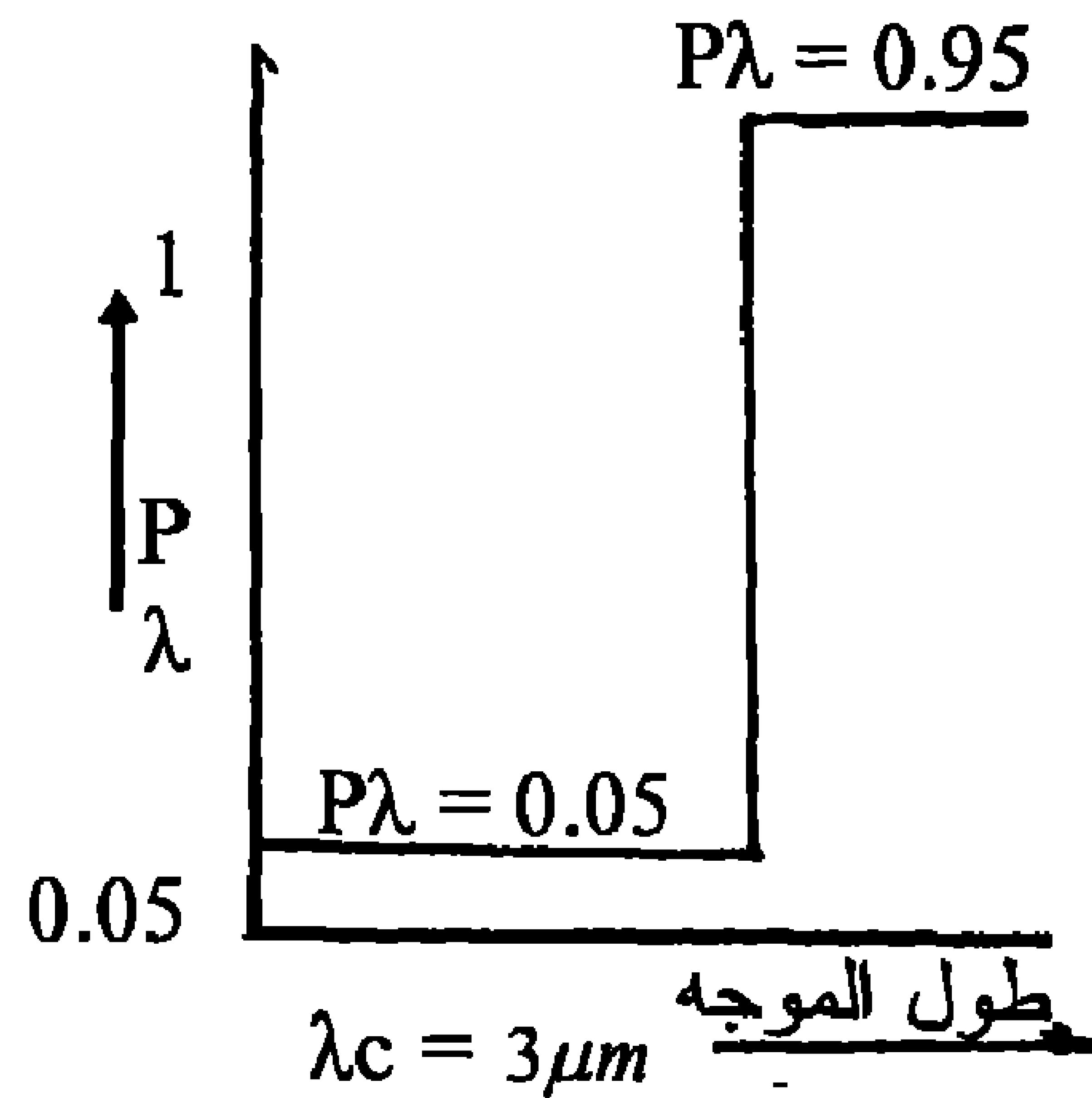
الأسطح الانتقائية لتحويل الطاقـــة

Selective Surfaces for solar Energy Conversion

مقدمة :

الطريقة السهلة والأكثر تأثيراً لاستخدام الطاقة الشمسية هى خلال مجمعات اللوح المستوى. مجمع اللوح المستوى يتكون من قاعدة مستوية من أساس معدنى. الجزء الأكثر أهمية فيه هو الطلاء متعدد الطبقات والذى يسمى التغطية الإنتقائية (Selective Coating) تتصف التغطية الانتقائية بامتصاصها العالى فى المجال المرئى (Visible Region) أى من 0.4 ميكرومتر ممتداً إلى المنطقة حتى 1.5 ميكرومتر والانعكاس العالى من 1.5 إلى 25 ميكرومتر من طبق الشمس. عند اختبار ميزان الطاقة للمجمع الشمسى أظهر الرغبة فى الحصول على أسطح التى تجمع بين الامتصاص العالى للإشعاع الشمسى والانبعاث الضعيف للأشعة طويلة الموجه، هذا التجميع للخواص يمكن الحصول عليه ذلك لوجود القليل من التطابق فى مجالات طول الموجه بين الطاقة الشمسية القادمة (خارج الغلاف الجوى للأرض 98% يكون عند طول موجة أقل من 3 مليميكرون) والإشعاع طويل الموجه المنبعث (أقل من 1% يكون عند أطول موجة أقل من 3 مليميكرون للسطح الأسود عند 400° كيلفن).

مفهوم السطح الانتقائى موضح باعتبار الانعكاس أحادى اللون (Monochromatic Reflectance) كما هو موضح فى الشكل رقم (26).



شكل رقم (17/1)

هذا السطح المثالى يسمى السطح شبه الرمادى حيث يمكن اعتباره رمادى فى الطيف الشمسى (أى عند أطوال موجة أقل عن حوالى 3 ميكرومتر) وكذلك رمادى، ولكن بخواص مختلفة، فى الطيف تحت الحمراء (أى عند أطوال موجة أكبر من حوالى 3 ميكرومتر). بالنسبة لهذا السطح المثالى، فإن الانعكاسية للون الواحد ($P\lambda$) تكون منخفضة جداً دون أطوال الموجه الحرجة (λ_c) ومرتفعة جداً عند أطوال موجة أكبر

من (λ_c) لذلك، فإن الامتصاص للطاقة الشمسية سيكون قريباً جداً من ($1 - P\lambda$) بالنسبة λأصغر من 3 ميكرومتر. قيمة الانبعاثية سوف تعتمد على درجة حرارة السطح، أى مقدار الإشعاع المنبعث عند أطوال موجة أكبر من (λ_c)، ومقدار أطوال الموجه أقل من (λ_2). بالنسبة للعمل العادى لمجمعات السطح المستوى، فإن درجة الحرارة سوف تكون منخفضة بما يكفى بحيث أساساً أن كل الطاقة سوف تنبعث عند أطوال موجه أكبر من 3 ميكرومتر. نظام الماص الانتقائى سيكون أسود دون بداية طول الموجة والانبعاث الضعيف فوق طول الموجه هذا.

مواد العاكس الشمسى (Solar Reflector Materials)

العواكس لها العديد من الاستخدامات فى التجميع الشمسى. يمكن أن تستخدم لانعكاس الإشعاع الشمسى الساقط إلى المستقبل المطلوب، أو يمكن أن تستخدم لعكس (أو لا تبعث) جزء معين من الطيف. مثال للاستخدام الأخير هو الانعكاسية العالية تحت الحمراء المطلوبة تحت طلاءات امتصاص انتقائية على المجمعات الضوئية الحرارية (Photothermal). فى الاستخدامات غير بؤرية (غير مركزة) فإن الانعكاس الكلى هو الاعتبار شديد الأهمية، ولكن فى الاستخدامات البؤرية (المركزة) حيث يفقد الإشعاع المنتشر، فإن أسطح العاكس سوف توفر انعكاس صقيل أو مرآوى (Specular). قوة الصقل أو المرآوية للسطح تتوقف على تقنية التصنيع. الانعكاس المرآوى هو أساس قياس لكثافة الشعاع المنعكس كدلالة للفتحة الزاوية Angular Aperature . معظم المواد توصف بالتوزيع العمودى والذى بالتالى يوصف بمعيارين وهما كثافة الشعاع وعرض الشعاع. نظراً لأن هذه المعايير تتوقف عى طول الموجه، فإنه يجب استخدام متوسط الكثافة الشمسية ومتوسط عرض الشعاع الشمسى، عندئذ، دلالة الانتشار للعاكس هى لفات لشكل مدخل الشمس مع الانتشار العمودى للعاكس.

سطح الألومنيوم يمكن أن يكون عاكس جيد بالدرفلة بين اسطوانات دحرجة عالية التلميع مثل هذه المادة هى (Alzak) التى لها سطح عالى الانعكاس المدرفل المحمى بطبقة أنوده (25 ميكومتر) هذه المادة لها ثبات بيئى جيد. عموماً طبقات المعدن بالتبخير على الأسطح الناعمة لها انعكاسية أعلا من المواد التى يتم تلميعها الزجاج أو السيراميك الزجاجى يشكل أساس مرآوى ممتاز. الزجاج الناعم المستوى يتكون بسهولة بواسطة عملية طفو الزجاج ويمكن تكوين العديد من الأشكال بالتشكيل بالقولبة أو بالبثق (Molding or Extraction). تلك الأجزاء تكون عندئذ قوية ويجب تغطيتها بالنوع المرحلى. إذا تم تغطية الزجاج على الخلف، فإن المرآة تسمى السطح الثانى، ومرآة

السطح الخلفى، إذا كان السطح الأمامي مغطى فإن المرآة تسمى مرآة السطح الأمـــامى والتغطية هى عادة محمية بطبقة رقيقة من مادة عازلة مثل MgF, Al_2O_2, SiO_2 فى كل المرايا السطح العاكس يجب حمايته من التحلل. هذه هى ميزة لمـــرآة الــسطح الخلفى، حيث الزجاج أو البوليمر النقى يمكن أن يستخدم لحماية السطح العاكس.

أسطح الألومنيوم المصقولة (Polished) تتصف عادة بكمية كبيرة لزاوية الانتشار الكبيرة والتى تقلل كثافة الشعاع الطيفى هذا التشتت ناتج عن الخدوش المتبقية، الحفر، أو علامات التلميع على السطح العاكس، وبالإضافة فإن شكل الشعاع المنعكس يمكن أن يكون موحد الخواص فى جميع النواحى (Isotropic) بسبب علامات التلميع الممتدة فى اتجاه واحد. سطح الألومنيوم عادة يتم حمايته من التلف بفعل العوامل الجويـــة وذلـــك بعمل طبقة أكسيد بالأنودة (Anodize). أفضل ألومنيوم تجارى عاكس يتم تسويقه تحت الاسم التجارى (Alzak) . المادة الرقيقة يتم تلميعها إليكتروليكياً ثم تغطيتها بطبقة رقيقة حوالى واحد ميكرومتر، من أكسيد الألومنيوم بالأنودة (AL_2O_3). الطبقة الرقيقة لا تقلل كثراً الانعكاس الشمسى، ولكنها تدخل بعض طبقات الامتصاص الضعيفة فـــى تحـــت الحمراء.

خواص الانعكاس الطبقى لطبقات البلاستيك المعدنية تعتمد على منظهر (Textrue) السطح الممعدن، الخواص البصرية لطبقة البلاستيك، عملية التطابق وخشونة الـــسطح للأساس (Substrate) . قوام سطح البلاستيك يمكن أن يتراوح من ذلك للسطح الناعم إلى المسبب للتشتت. من وجهة النظر البيئى، البلاستيك معرض للاحتكاك من حبيبات التربة التى تهب ومن النظافة الميكانيكية. بالإضافة إلى أن ثبات فوق للبنفسجية، تسرب الرطوبة، الشحن الاستاتيكى، وعدم التطابق، قد تكون تأثيرات هامـــة نحـــو التحلـــل. المرايا المحدبة من طبقات البلاستيك تمثل صعوبة، الحصول على مرايا مقعـــرة مـــع الاحتفاظ بنعومة السطح للطبقات المستوية يكون صعباً، مركزات المرايا لاســـتخدامات الطاقة الشمسية ثم عملها باستخدام ضغط الهواء بين طبقتين من البلاستيك.

طبقاً لمعايير الأداء تلـــك، فـــإن الأكليريـــك الطبقـــى والتيفلـــون المـــنخفض (Aluminated acrylic silvered Teflon) هى مواد عاكسة مناسبة.

الأسطح الانتقائية والغير انتقائية :Selective and Non. Selective surfaces

عموماً السطح الانتقائى هو المادة أو الطلاء الـــذى يظهـــر انتقـــاء بـــصرى، أي الخواص البصرية التى تتغير كثيراً من منطقة طيف إلى أخرى. الخـــواص البـــصرية ذات الاهتمام العادى هى الانعكاسية، الانتقاليـــة، الامتـــصاصية، الانبعاثيـــة، معامـــل

الانكسار ومعامل الحيود (Extinction coefficient, Index of Retraction, Remittance, Absorptions, Transmittance, Reflectance).

طيف الإشعاع الشمسى وطيف التسخين إلى درجة حرارة متوسطة لا يتطابقا بأى كمية قابلة للتطبيق. من هذا فإنه إذا كانت المواد أو الأسطح يمكن أن توجد أو أن تخلق بحيث أنها تختلف فى الامتصاص، الانعكاس أو خواص الانتقالية بين أطوال الموجات أكبر من 2 ميكرومتر (2 Mm) أى فى المجال الحرارى (Thermal range)، وطول الموجه أقل من 2 ميكرومتر، أى فى المجال الشمسى (Solar Range)، عندئذ فإنه يكون من الممكن احتجاز الطاقة الشمسية وجمعها بالامتصاص، ولكن لمنع أو خفض فقد الإشعاع الحرارى. مثل تلك المواد أو الأسطح تسمى الانتقائية (Selective).

تغطية السطح الانتقائى تقوم بدور هام عندما تكون درجات الحرارة المطلوبة مرتفعة لأن الفقد الإشعاعى يصبح كبيراً عند درجات الحرارة هذه . الهدف لذلك هو لتقليل الانبعاثية المؤثرة (Effective Emissivity) لمجموع المستقبل -ا لغلاف (Receiver - Envelope).

كمية الإشعاع الشمسى الممتص بواسطة المجمع تتناسب مع امتصاصية سطح الجامع إلى الإشعاع الشمسى نسبة إلى تلك لجسم أسود تماماً. الفقد من المجمع بسبب إعادة الإشعاع يتناسب مع الانبعاثية لسطح المجمع خلال أطوال الموجة التى تقابل درجة حرارة سطح المجمع. الامتصاصية والانبعاثية عند طول موجة معين يكونا متساويين، ولكن، عند أطوال موجة مختلفة، فإنه يمكن أن يتغيرا من قريباً من الصفر إلى قريباً من الواحد. نظراً لأن 96% من الإشعاع الشمسى يكون مركزاً فى مجالات طول موجة أقل من 2 ميكرومتر، وأن 99% من إعادة الإشعاعات من سطح المجموع (الذى يعمل عند أقل من 400^{o} كيلفن) يكون فى أطوال موجهة تزيد عن 2.5 ميكرومتر) وانبعاث منخفض للأشعة طويلة الموجة (أكثر من 2.5 ميكرومتر). رغم أنه تم اختيار عدد كبير من معالجات الأسطح الانتقائية التجريبية إلا أن القليل هو الذى استمر فى الاختيارات المعملية.

جدول (1/17) خواص التغطية الانتقائية:

التغطية	النوع	الامتصاصية	الانبعاثية
أ- التغطية الانتقائية:			
الكروم الأسود	الترسيب الكهربى	0.96	0.1
النيكل الأسود	الترسيب الكهربى	0.9	0.1

النحاس الأسود	أكسيد النحاس	0.92-0.87	0.35-0.07
أنودة سوداء	أكسيد الألومنيوم	0.94	0.07
لفيفة شمسية (Solar foil)	كروم أسود فوق نحاس	0.96	0.1
شريط شمسى Solar strip)	كروم أسود فوق نحاس	0.96	0.1
ب- غير انتقائية:			
Enersorb	طلاء اليوريثين	0.97	0.9
Nextel	طلاء	0.97	0.89
XS - 111	طلاء البورسيين	0.935	0.85

عدد كبير من الطلاءات الغير انتقائية متاح وله استخدامات عديدة كطلاءت لمجمع اللوح المستوى. هذه هى أساسا الطلاءات العضوية مثل الطلاءات السوداء المستوية (Flat Black paints). معظم تلك الطلاءات له امتصاصية تزيد عن 0.95 وانبعاثية من 0.9 إلى 0.95. رغم أن تلك الانبعاثية مرتفعه فإن استخدام تلك الطلاءات يمكن تبريره اقتصادياً فى بعض الاستخدامات حيث درجات الحرارة المرتفعة للمجمع تكون غير مطلوبة، كما فى حالة نظم المياه الساخنة أو سخانات حمامات السباحة. الجدول السابق يبين بيان الخواص لبعض الطلاءات الانتقائية والغير انتقائية.

معظم الأسطح التى هى ماص جيد للإشعاع الشمسى هى كذلك مشعات جيدة للحرارة. كمثال، إذا كان سطح غير انتقائى له قوة امتصاص 0.95 للإشعاع الشمسى، فإنه سوف يشع حرارة بمعدل حوالى 95% لذلك الجسم الأسود المشع. الأسطح الانتقائية قادرة على امتصاص الإشعاع الشمسى بكفاءة ولكن فى نفس الوقت تشع حرارة قليلة. معظم الأسطح الانتقائية تتكون من طبقة أكسيد معدنى رقيقة على أساس معدنى لامع. الطلاء من الأكسيد الأسود يكون بما يكفى للعمل كماص شمسى جيد، مع قوة امتصاص مرتفعة حتى 0.96، ولكن يكون أساسا شفاف للأشعة الحرارية طويلة الموجة المنبعثة بواسطة غرض عند درجة حرارة من عدة مئات من درجة الحرارة. حيث أن المعادن اللامعة لها انبعاثية ضعيفة للإشعاع الحرارى، أي أنها ضعيفة الإشعاع الحرارى، ونظراً لأن طلاء الأكسيد الرقيق يكون شفافاً مثل هذا الإشعاع، فإن المجمع يكون مشع ضعيف للحرارة، نتيجة لذلك، فإن الفقد الإشعاعى من السطح الانتقائى يكون أقل كثيراً عنه من السطح التقليدى الغير انتقائى.

المعامل الكلي للفقد الحرارى (U_L) عندئذ يقل فى المجال الحار.

أنواع الأغطية (الطلاءات) الانتقائية: Types of selective coatings

الاستخدام الجيد للطاقة الشمسية يتطلب أسطح المجمع بالصفات الطبيعية والبصرية الآتية:

1- الامتصاص من خلال الطيف الشمسى (003 - 2.50 ميكرومتر) يجب أن يكون مرتفعاً.
2- الانبعاثية لأطوال موجة أكبر من 2.5 ميكرومتر يجب أن تكون منخفضة.
3- الانتقال ما بين منطقة الامتصاص العالى والانبعاث المنخفض يجب أن يكون حاداً ما أمكن.
4- الخواص البصرية والطبيعية للطلاء (الغطاء) يجب أن يظل ثابتاً تحت العمل لفترة طويلة وعند درجات الحرارة المرتفعة، وتكرار الدورة الحرارية، التعرض للهواء، الإشعاعات فوق البنفسجية..الخ.
5- الالتصاق بين طبقة الطلاء وسطح الأساس يجب أن يكون جيداً.
6- السهولة فى استخدام الطلاء على المجمعات ذات الشكل والحجم المطلوب.
7- الطلاء يجب أن يكون اقتصادى.

الماص الشمسى المثالى يجب أن يكون ذلك الذى يمتص تماماً الطاقة الشمسية الساقطة (0.3 - 2.5 ميكرومتر) وبذا فله امتصاصية ($\alpha s = 1$). فى نفس الوقت فإنه لا يبعث إشعاعات فى المجال للأشعة تحت الحمراء (تزيد عن 2.% ميكرومتر) أى الانبعاثية (ξ = صفر) عند درجة حرارة التشغيل. لذلك، فى الطلاء العملى تتم محاولة لتعظيم قيمة (αs) وخفض قيمة (ξ)، بذا الحصول على نسبة (αs إلى ξ) عالية. باعتبار فقط مناطق الإشعاع الشمسية الطويلة، فإنه يوجد أربع أنواع رئيسية من الأسطح الانتقائية (المعتمة) النوع الأول هو ذلك الذى سوف يمتص ويبعث الكثير من الإشعاع ما أمكن عن جميع أطوال الموجات، أى ذلك، الجسم الأسود، النوع الثانى، الذى يمتص أقصى إشعاع شمسى ويبعث القليل ما أمكن. النوع الثالث له امتصاص شمسى منخفض وانبعاث عالى. الطبقة الكثيفة من الطلاء الأسود المستوى هى مثال جيد للنوع الأول، الذى له انعكاس طيفى منخفض عند جميع أطوال الموجات. المثال الجيد للنوع الثانى هو الذى يتكون من طبقة رقيقة من النيكل الأسود على أساس معدنى لامع. هذا النظام يمتص كثيراً فى المجال الشمسى ولكن له انبعاثية ضعيفة. النوع الثالث، الذى عبارة عن الطلاء الأبيض الذى له انعكاسية عالية فى المجال وانبعاثية عالية، رقيقة الألومنيوم (Al Foil) هى أفضل مثال للنوع الرابع رغم أن الإشعاع الشمسى يكون أعلا كثيراً عن الانبعاثية للأشعة تحت الحمراء.

الأسطح السوداء الانتقائية يتم الحصول عليها عموماً بواحد من الطرق الآتية:

1- الأسطح السوداء البصرية (الشفافة لأطوال الموجة أعلا من حوالى 2 - 3 ميكرومتر، التى تتكون من أساس معدنى لامع (انبعاثية منخفضة).

2- طبقة رقيقة من تراب المعدن مثل الذهب – الذى يمكن أن يعلق فى شبكة مناسبة – حيث حجم الحبيبات يكون بالنسبة للضوء المرئى كما لو كان أسوداً، ولكن عند أطوال موجة طويلة يكون عاكساً، يتم تكوينه على الأساس الأسود (Black substrate). غالبا فإن كل الأسطح الانتقائية المستخدمة حالياً هى من النوع الأول. تلك تشمل الأكاسيد المعدنية، طبقة السلفيد (Sulphide) المغطاة فقط على المعادن المختلفة مثل معقد النيكل – سلفيد الزنك (Ni/ Zns) المعروف بأسود النيكل وأسود الكروم ($Cr/ Cr_2/ O_3$)، أكسيد النحاس (CuO)، أكسيد الحديد ($Fe_3\ O_4$) وأكسيد الكوبالت ($CO_3\ O_4$). الانتقائية الشمسية يمكن الحصول عليها بطرق مختلفة التى يمكن تجميعها كالآتى:

1- مواد الانتقاء الشمسى الذاتية الأصلية (Intrinsic).

2- شبه الموصل الماص ومعدن الانعكاس لطبقات الترادف Tandem films.

3- الاقتناص البصرى بفجوة السطح أو التمييز الطبيعى لطول الموجة.

4- تأثيرات التداخل البصرى باستخدام الطبقات الرقيقة من المعادن والعوازل الكهربية.

5- الطبقة المركبة من طلاءات الحبيبات.

6- التأثير الكمي للحجم.

7- الأسطح الانتقالية الحقيقية عادة تستخدم الأداء المشترك لعدد اثنين أو ثلاث آليات للحصول على انتقائية عالية.

مواد الانتقاء الشمسى الذاتية الأصيلة: Intrinsic Solar Selective Materials

يوجد هناك بعض المواد الطبيعية والمركبات التى ذات خواص بصرية قريباً من الشكل العام المطلوب للأسطح الانتقائية المثالية. مثال لمثل هذه المواد هى (HFC - Hafnium Carbide) الذى له قوة امتصاص شمسية تقريبا 0.65 وانبعاث حرارى حوالى 0.1 عند درجة حرارة الغرفة.

معظم الماصات الأصلية هى أكاسيد المعادن الانتقالية، الكبريتيدات، النيتروميت، أو الكربيدات، عموماً، يوجد نوعين من المواد التى تعتبر ماصات أصيلة. وهى المعادن الانتقالية وشبه الموصلات.

شبه الموصلات الماص ومعدن الانعكاس الترادفي

Absorbing Semiconductor and reflective metal tandem

إذا تمت تغطية معدن بشبه الموصل عندئذ فإن شبه الموصل سوف يمتص إشعاع شمسي عالي الطاقة، بينما في مجال الأشعة تحت الحمراء فإن الترادف (Tandem) سوف يعمل مثل المعدن ضعيف الانبعاث. الخاصية المعدنية لطبقة الترادف ترجع إلى الشفافية العالية لشبه الموصل في هذا المجال شبه الموصل يجب أن يكون له طرف امتصاص قريباً من أقصى قطع طيفي لطول الموجه ومعامل انعكاس منخفض.

أحد أبسط طبقة المص الوحيدة هي المعدن المؤكسد، حيث طبقة الأكسيد توفر الامتصاص الشمسي المطلوب. طريقتين أساسيتين تشمل أكسدة الأساس المعدني (Metal substrate) أو الطبقة المعدنية، أو التحويل الكيميائي للطبقة المعدنية. تلك التغطيات تعتمد على حقيقة أي أكاسيد كثيراً من المعادن هو ماصة جزئياً . في المنطقة الشمسية (Solar Region) يكون سمك طبقة التغطية في حدود أطوال الموجة للإشعاع الساقط وقد يوجد امتصاص إلى حد ما. عند أطوال موجة أعلا في مجال الأشعة تحت الحمراء فإن سمك الطبقة يصبح جزء صغير مختفياً من طول الموجة والانعكاس لمادة الأساس السفلية تكون غير متأثرة نسبياً.

عملية الأكسدة استخدمت لإنتاج أكسيد النحاس بالغمر والتسخين والترسيب الحراري لمحاليل النترات بالرش، والأكسدة المباشرة. أكاسيد إضافية أخرى تكونت على طبقات الأساس السفلية المعدنية المختلفة تشمل خليط أكسيد الكوبالت، أكسيد النيكل، أكسيد المنجيز، أكسيد الأنتيمون، أكسيد التيتانيوم، أكسيد الزركونيوم، أكسيد الألومنيوم، معظم مواد التغطية من الأكاسيد لها انتقائية متوسطة ($\alpha = 0.6 - 0.85$)، ($\xi = 0.1 - 0.4$) عند درجة حرارة استخدام منخفضة.

الماصات الترادفية (Tandem – واحد خلف الآخر) يمكن عملها من المواد البللورية أو الغير بللورية في شكل مساحيق أو طبقات مستمرة. أحياناً وجود فواصل بين الحبيبات (Grain Boundries) أو عيوب خلال عدم الانتظام الذري يمكن أن يكون مفيداً في اشتقاق خواص الماص. طبقات الماص هذه يمكن أن تتكون بمختلف النشاط الكهروكيميائي وطرق الترسيب.

الحجز الضوئي بالفجوة السطحية أو التمييز الطبيعي لطول الموجة

Optical Trapping By surface Cavity or Physical Wavelength Discrimination

مواد تمييز مقدمة الموجة تستخدم خشونة السطح الطبيعيــة أو أقطــار الحبيبــات لإنتاج تأثيرات بصرية مختلفة فى مجال الأشعة المرئية وتحت الحمراء. من الممكــن إنتاج السطح الذى يبدو خشن وماص للطاقة المرئية بينما يظهر شــبه مــرآة وباعــث ضعيف فى المجال تحت الحمراء. في حالة الحبيبات الصغيرة فإن تأثير (Mie) يعمل، وتنتشر الحبيبات بشدة عند أطوال موجات القصيرة، ضعيفة عنــد الطويلــة. تقريبــاً الأسطح المثالية تم إنتاجها بترسيب البخار الكيماوى. ترسيب البخار الكيماوى هذا ينتج عنه بناء متفرغ شجيرى (Dendritic Structure) تلك الشجيرات تظهر فى شكل أبــر قمعية أو شعرات. تلك الغابات الشجرية تمتص طاقة شمسية عالية مــن الإشــعاعات بفعل هندسة مضاعفة الامتصاص والانعكاس.

تحضير الأسطح الانتقائية السوداء:

Preparation of selective black surfaces:

كما تم الإشارة إليه سابقاً، يوجد العديد من الأسطح الانتقائية السوداء التى يمكــن استخدامها على المجمعات الشمسية، تقنيات التحضير لبعض تلك التغطيات أو الطلاءات الانتقائية السوداء المستخدمة كثيراً يتم مناقشتها باختصار كالآتى:

1- النيكل الأسود (Black Nickel)

هذا الطلاء أو طبقة التغطية الذى يتم إنتاجه بالترسيب الكهربى، يستخدم تجارياً فى سخانات الماء الشمسى فى إسرائيل، المنــاخ الجــاف فــى إســرائيل يعتبــر مثــالى لاستخدامات مجمع النيكل الأسود، يتم أولاً عمل النظافة الجيــدة والتجفيــف لمعــدن الأساس الذى سيتم تغطيته بالنيكل الأسود. الغطاء الأسود يتم الحصول عليــه عندئــذ بغمر معدن الأساس فى شكل الكاثود الذى فى حوض اليكتروليتى مائى محتوياً فى كل لتر الآتى:

- 75 جرام من كبريتات النيكل ($Ni\ So_4\ 6\ H_2O$)
- 29 جرام من كبريتات الزنك.
- 24 جرام من كبريتات الأمونيوم.
- أمونيوم ثيوسيانيت.
- حامض سيتريك.

الرقم الهيدروجينى (pH) للمحلول يجب أن يكون حوالى 4، ويستخدم الآنود مــن النيكل النقى، الحمام يعمل عند درجة حرارة 30^oم ويتم التحليل الكهربى لمدة 2-4 دقيقة كثافة تيار 2 ملى أمبير/سم2 (2mA/Cm2). الزمن المضبوط يتوقف على طبيعة معدن الأساس ودرجة حرارة الحمام.

يمكن الحصول على أفضل النتائج بترسيب أولاً النيكل اللامع كطبقة غطاء على مادة الأساس. التغطية بالنيكل اللامع على الصلب المطاوع أو الصلب المجلفن يمكن ترسيبه باستخدام حمام محتوياً الآتى فى اللتر.

- 175 جرام من كبريتات النيكل.
- 41 جرام من كلوريد النيكل.
- 40 جرام من حامض البوريك (Boric acid)

يتم غمر معدن الأساس فى شكل الكاثود فى حمام عند 50- 55^oم. الرقم الهيدروجينى للمحلول يجب أن يكون حوالى 4 وكثافة التيار فى المجال من 3.5 - 4.5 أمبير/سم2 (3.5-4.5 A/Cm^2). أفضل النتائج يتم الحصول عليها بتقنية الطبقتين. لذلك فإنه على الحديد "لمجلفن يتم التحليل الكهربى على 1 أمبير/سم2 لمدة دقيقة واحدة يليه 2-1 دقيقة عند 2 ملى أمبير/سم2.

تم حديثاً تطوير عملية تحليل كهربى لترسيب طبقة تغطية عالية الالتصاق من النيكل الأسود على مادة الأساس من الحديد المجلفن التجارى المتاح. محلول التغطية يحتوى أساسا كبريتات النيكل، أسيتات الصوديوم، أمونيا مع عوامل تلميع واختزال (Brightening, Reducing, Agents). الرقم الهيدروجينى للمحلول يظل فى المجال من 9.5 إلى 10.5 ويتم المحافظة على درجة الحرارة ما بين 25 - 40^oم، يسمح للحوض بالمكث لمدة 8 - 10 ساعة قبل الترسيب. مادة الأساس النظيفة من الحديد يتم غمرها فى محلول التغطية لمدة 1.5-2 دقيقة ثم غسيلها بالماء وتجفيفها فى الهواء. التغطية التى تنتج عندئذ لا تحتوى على أى كبريتيدات (Sulphides)، ولهذا، فإن التحلل البصرى ليس من المحتمل حدوثه. هذه التغطية لها قوة امتصاص 0.92 وانبعاثيه (عند 100^oم) 0.07 - 0.1 ولها مقاومة ممتازة للرطوبة ودرجة الحرارة العالية والتآكل.

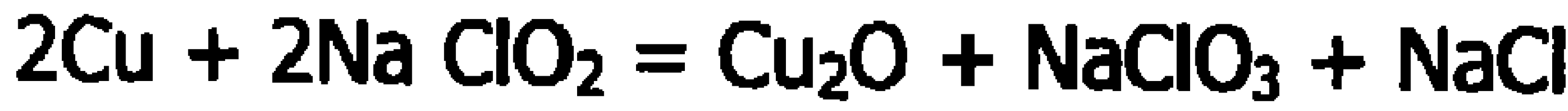
أكسيد النحاس : (Copper Oxide)

التغطية بأكسيد النحاس الأسود على النحاس أو الألومنيوم يمكن الحصول عليها بسهولة وهى واسعة الانتشار فى صناعات المجمع الشمسى، خاصة فى أستراليا. لقد وصفت طريقة الحصول على أكسيد النحاس كطبقة تغطية على مادة الأساس من النحاس. تبدأ العمل بإزالة الأوساخ ثم إزالة طبقة الأكسيد للحصول على سطح نظيف لامع. بعد إزالة الشحومات فى حمام مغلى من منظف المعدن، يتم غسيله فى الماء النظيف وحكه باستخدام فرشة سلك طريه لإزالة الجسيمات الدقيقة. يتم عندئذ الغمر

لأوقات مختلفة في حوض التسويد (Blackening) المحتوى على الآتي في اللتر من الماء، عند درجة حرارة محلول 140 - 140°م.

- 100 جرام من أيدروكسيد الصوديوم (NaOH)
- 50 جرام من كلوريد الصوديوم ($NaOCl_2$)

التفاعلات الآتية المحتمل حدوثها خلال عملية الأكسدة هي


$$2Cu + 2Na\,ClO_2 = Cu_2O + NaClO_3 + NaCl$$


$$Cu_2O + 2Na\,ClO_2 = 2CuO + Na\,ClO_3 + NaCl$$

الغمر في حوض الأكسدة القلوى لمدة ثلاث دقائق يعطى امتصاص شمس α = 0.79، انبعاث حرارى ε = 0.05، بينما الغمر لمدة 10 دقائق يزيد α إلى 0.9، ε عند 65°م 0.2. طريقة استخدام أكسيد النحاس الأسود كسطح انتقائى على الأساس من الألومنيوم بالترسيب الكهربى. في هذه العملية يتم أولاً تغطية الأساس من الألومنيوم بطبقة أكسيد بالأنودة (Anodizing). ولهذا الغرض في مادة الأساس من الألومنيوم يتم غمرها ككاثود في محلول مائي محتوياً 3% بالحجم من حامض الفوسفوريك، حيث يكون الكربون هو الآنود. يتم تمرير تيار كهربى مقداره 6 ملى أمبير/سم2 ($6mA/Cm^2$) لمدة 20 - 30 ثانية خلال المحلول، ثم يتم عكس التيار لمدة ثوان قليلة لإعطاء آنودة جزئية. بعد الشطف يتم غمر الأساس من الألومنيوم لمدة 15 دقيقة عند 80 - 95°م في محلول مائي محتوياً على الآتي في اللتر من الماء:

- 25 جرام من نترات النحاس ($Cu\,NO_3.\,6H_2O$)
- 3 جرام من حامض النيتريك المركز
- 15 جرام من برمنجنات البوتاسيوم.

بعد هذه المعالجة، يتم سحب هذا الأساس من الألومنيوم. تجفيفه، وتسخينه إلى حوالى 450°م للقليل من الساعات، حتى يصبح لون السطح أسود تماماً.

بعد ذلك تم تطوير تقنيات لإنتاج طبقة نحاس أسود إنتقائية على النحاس بواسطة (Potdar) وذلك بالأكسدة الآنودية فيمجال قلوى. الحمام يتكون من 10% إيدروكسيد الصوديوم و 0.01% من محلول موليبديت الأمونيا. الكاثود المستخدم هو لوح من الصلب المقاوم وحيث يستخدم لوح النحاس كأنود. أفضل انتقائية تم إثباتها للحالات الآتية.

كثافة التيار = 9.0 ملى أمبير/سم2 ($9\ mA/Cm^2$)

درجة حرارة الحمام 80°م

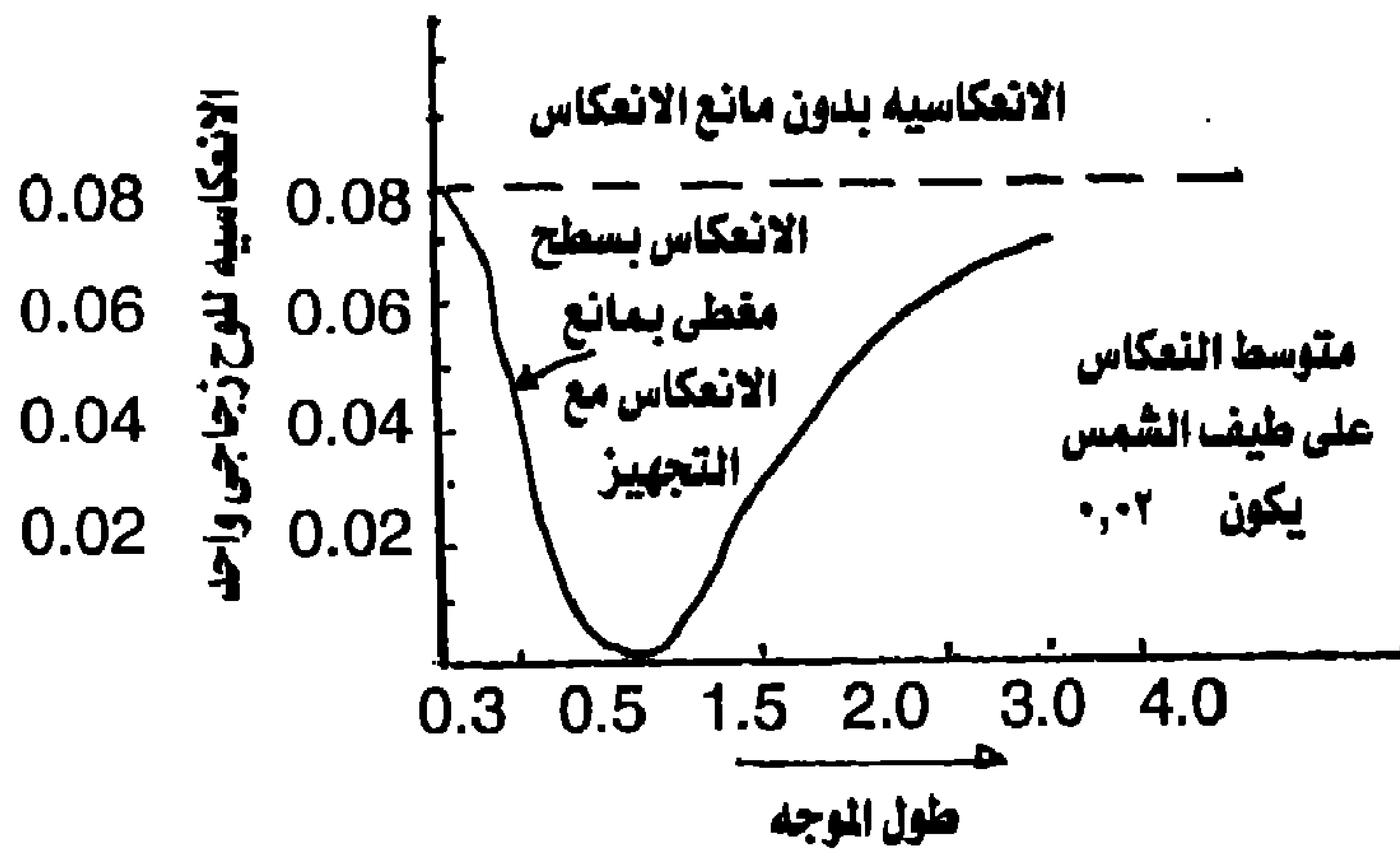
المسافة بين القطبين 7.5سم

زمن الترسيب 60 ثانية

وقد وجد أن طبقة النحاس السوداء التى أعدت بالأكسدة الآنودية تكون جيدة الالتصاق ولها قطع (Cutoff) عند 3.5 متر، والإمتصاصية هى 0.95، الانبعاثية هى 0.02. الطبقة تتكون من أكسيد النحاسوز فى شكل النحاسيك وأكسيد النحاسيك فى شكل أحادى الميل (Monoclinic). حجم البللورة هو 100 - 200 أنجسترون (100 - 200 A°).

الكروم الأسود : (Black chrome)

السطح الانتقائى الأكثر نجاحاً وثباتاً الذى تم تطويره حالياً هو الذى يتم عمله بالطلاء الكهربى (Electroplating) بطبقة من النيكل اللامع على لوح الماص، ثم الترسيب الكهربى (Electro deposition) بطبقة رقيقة جداً من أكسيد الكروم (الكروم الأسود) على مادة الأساس من النيكل. التغطيات من أكسيد النيكل (النيكل الأسود) قد استخدمت كذلك، ولكنها أقل مقاومة للتلف بفعل الرطوبة. التغطية بأكسيد النحاس على النحاس اللامع والنيكل له خواص مشابهة ولكن يميل إلى التحلل عند درجات الحرارة المرتفعة. الكروم الأسود ($Cr\text{-}Cr_2O_3$) هو التغطية الاختيارية المستخدمة عادة للمجمعات الشمسية ذات اللوح المستوى بسبب خصائصها البصرية المطلوبة العالية (الامتصاصية = 0.96، الانبعاثية = 0.07)، قوة التحمل والمقاومة ضد التلف بفعل الرطوبة أو درجة الحرارة العالية والتكلفة المتوسطة. الشكل (2/17) يبين الانعكاسية بدلالة طول الموجة لمختلف أنواع الطلاءات الانتقائية.



شكل (2/17) طيف الانعكاس لعينة من الزجاج قبل وبعد تجهيز السطح الحامض (Etching)

الكروم الأسود عادة يتم فى حوض الطلاء الكهربى (Harshaw chromonlyx) حيث يتم الطلاء الكهربى عند حوالى 2000 أمبير/المتر لمربع (2000A/m2) لمدة حوالى دقيقة واحدة. الكروم الأسود يمكن طلاؤه كهربياً على الصلب، النحاس أو الألومنيوم باستخدام أجهزة الطلاء الكهربى التجارية المستخدمة لنفس الحوض، الكيماويات وطرق التشطيب الجمالى للكروم الأسود، المستخدم لأرجل المنضدة، مقابض الأبواب، أطراف الكراسى المعدنية وهكذا. ولكن، معايير العملية (كثافة التيار، تركيز الأيون، زمن الطلاء الكهربى) يجب إحكامه بحرص. حوض الطلاء الكهربى (Chromonyx) من شركة (Harshaw) للكيماويات هو أفضل كروم أسود عادى المستخدم الطلاءات الانتقائية الشمسية.

كذلك تم وصف طريقة أخرى (Muchlratzer et al., 1981) تجارية لصناعة الطلاء الكهربى للكروم. الألواح التى يتم تغطيتها ثم أولاً تنظيفها بالقلوى، وإزالة الشحوم فى حمام (Trichloroethane Ultrasonic)، وبخار تراى كلورو إيثين ثم حامض الهيدروكلوريك المخفف. يلى ذلك الطلاء بالنيكل (Nickel - Plated) والشطف بواسطة الماء الخالى من الأيونات (Deionized)، ثم الطلاء الكهربى بالكروم الأسود، والشطف بالماء الخالى من الايونات، يليه الشطف بالكحول والتجفيف فى الهواء. امتصاصية السطح المنتج ثم قياسها بواسطة (Spectorphotometer) والانبعاثية ثم قياسها بمقارنة الطاقة الإشعاعية للسطح عند 100°م إلى تلك للجسم الأسود المشع المعاير والجدول الأتى يبين القيم المقاسة لكل من (ε،α) تستمر فى الزيادة مع زيادة السمك، ولكن (ε) تزداد كذلك بسرعة بعد (α = 0.97).

جدول (2/7) القيم المناسبة لكل من (α) ، (ε)

زمن الطلاء	α	ε عند 100°م
20	0.955	0.079
22	0.962	0.090
24	0.970	0.104
26	0.972	0.120
30	0.976	0.150
34	0.975	0.194
38	0.976	0.249

قيم كلا من (α) ، (ε) التي تم الحصول عليها هى كذلك دلالة لمكونـــات حـــوض الطلاء (خاصة لكروم سداسى التكافؤ، الكروم الثلاثى التكـــافؤ، وحـــامض الأســـتيك، وتركيز أيون الحديديك)، نوع التغطية بالنيكل وتحضير السطح للوح المطلوب تغطيته. كذلك فإن قيمة (ε) تزداد كذلك مع درجة حرارة السطح، ذلك بسبب الحيود للإشـــعاع الحرارى الطيفى المنبعث نحو أطوال الموجة الأقصر.

طرق إنتاج طبقات التغطية (Production Methods of coatings)

الطبقات الانتقائية يمكن تنفيذها على مواد الأساس بالعديد من التقنيـــات، المنتجـــة لسطح ذو خواص بصريه، كيماويه، طبيعية مختلفة قليلاً لكل مـــادة مـــن المكونـــات. الطريقة المستخدمة فى التحضير المعملى ليس من الضرورى أن تكون الأفضل للإنتاج التالى التجارى على مستوى كبير. الطرق الحالية هى:

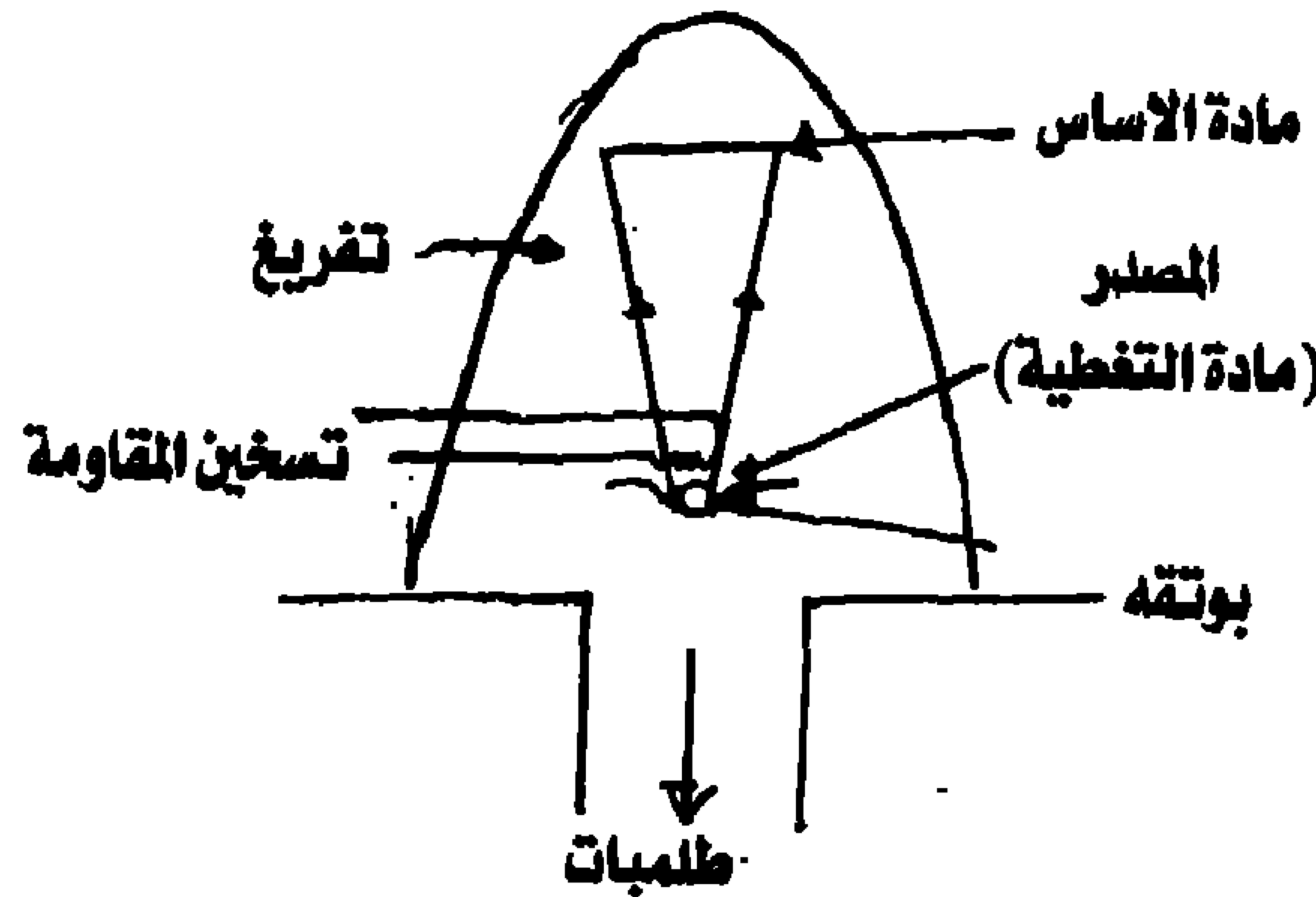
1- التبخير بالتفريغ.
2- التبادل الأيونى.
3- الرشرشة الكاثودية.
4- الترسيب الكيماوى بالبخار.
5- طريقة الأكسدة الكيماوية.
6- الغمر فى الأحواض الكيماوية المناسبة.
7- الطلاء الكهربى.
8- طريقة الرش.
9- الطلاء وطرق أخرى.

1- طريقة التبخير التفريغ: (Vacum Evaporation Method)

فى هذه الطريقة، يتم خفض الضغط إلى حوالى 10^{-5} تور (Torr = وحدة ضـــغط جوى تعادل ضغط مليمتر واحد من الزئبق = 133.3 بسكال) ومـــادة التغطيـــة يـــتم تبخيرها بالتسخين بالمقاومة (Resistive Heating) أو بالتـــصادق بواســـطة مدفعـــة الإليكترونات Electron Gum (وهى عبارة عن أنبوب أشعة الكاثود للون TV، الأشعة يتم تركيزها بالفحص بواسطة لفات مغناطيسية). المبخرات (Evaporant) تسير فـــى خط مستقيم فى شكل (3/17) بخار حتى التصادم مع مادة الأساس البـــاردة نـــسبياً أو الحائط. فمثلاً، الطبقات الشبه موصلة للسيلينيوم (Se)، (Cdte) يمكن ترســـيبها علـــى طبقة رقيقة عالية الانعكاسية (≅ 0.1 ميكرومتر) من الفضة (الموضوعة فوق شـــرائط

زجاج) بسمك طبقة الامتصاص يمكن أن يكون تقريباً 0.12 ميكرومتر. وجدت قوة الامتصاص لتكون 0.98.

عملية التبخير بالتفريغ موضحة فى الشكل (3/17) حيث فى هذه الحالة الصلب (مادة التغطية) تتصهر وتصبح بخار، تتحرك ذرات البخار من المصدر نحو الأساس فى خط مستقيم. الذرات ترسب على الأساس بترسيب طبقة بطبقة. يستمر التفريغ فى الوعاء، وهو يساعد فى زيادة الممر الحر وبذا تجنب التصادم والانتشار. وهو يقلل تلوث الطبقة كذلك.



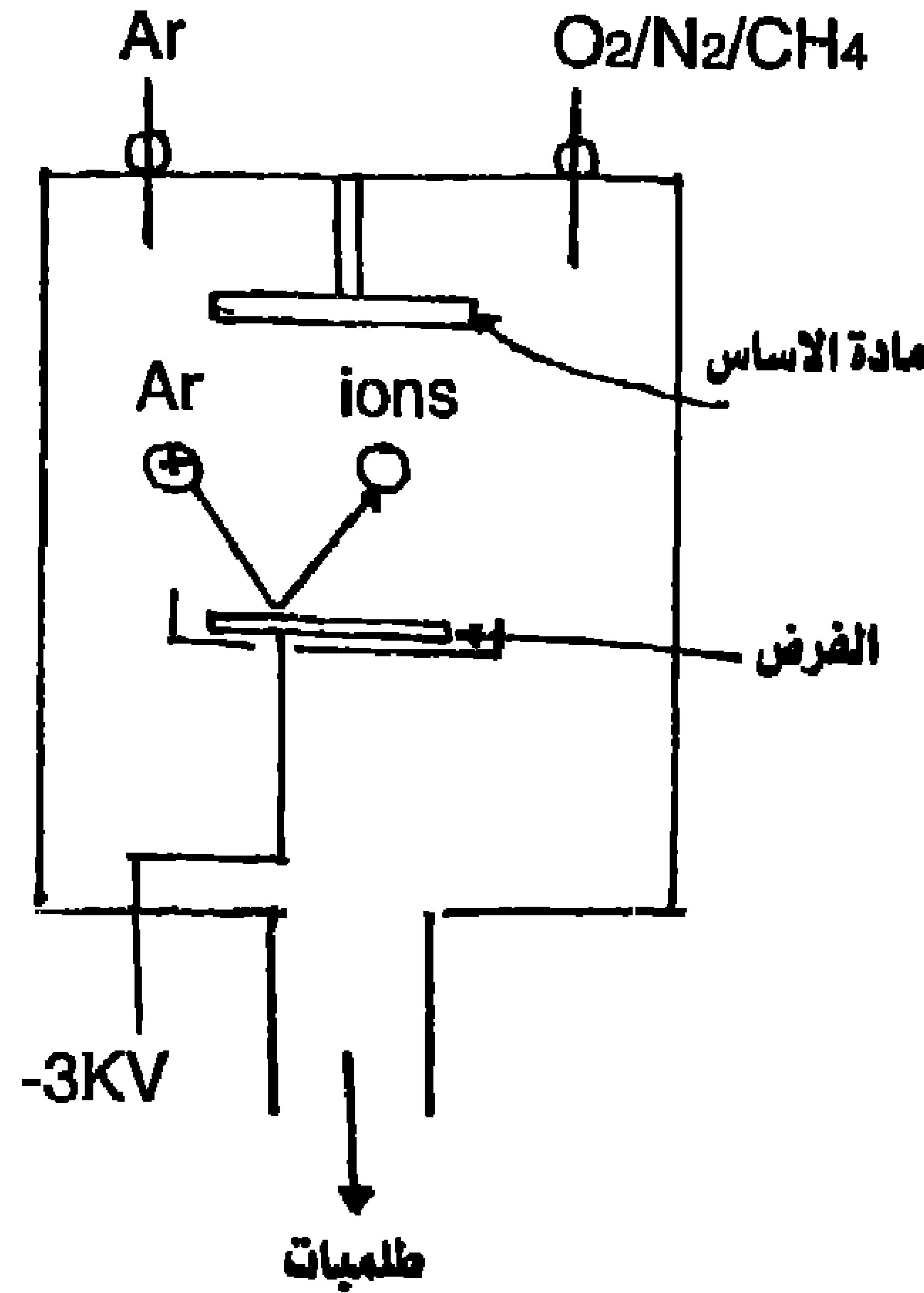
شكل (3/17) مخطط لمبخر التفريغ

2- طريقة التبادل الأيونى : (Ion Exchange Method)

التغطيات الانتقائية يتم تحضيرها بهذه الطريقة كذلك. فمثلاً، يمكن ترسيب مجموع ZnS - PbS - NiS على ألوح الأساسات من الألومنيوم أو النحاس. طبقة سلفيد النحاس يمكن كذلك أن ترسب على النحاس وكذلك على الألومنيوم من مواد الأساس. وجد أن الامتصاص هو فى حدود 0.95، كما يمكن حسابه من طيف الانعكاس.

3- طريقة الرشرشة الكاثودية بالتفريغ: (Vacuum sputtering Method)

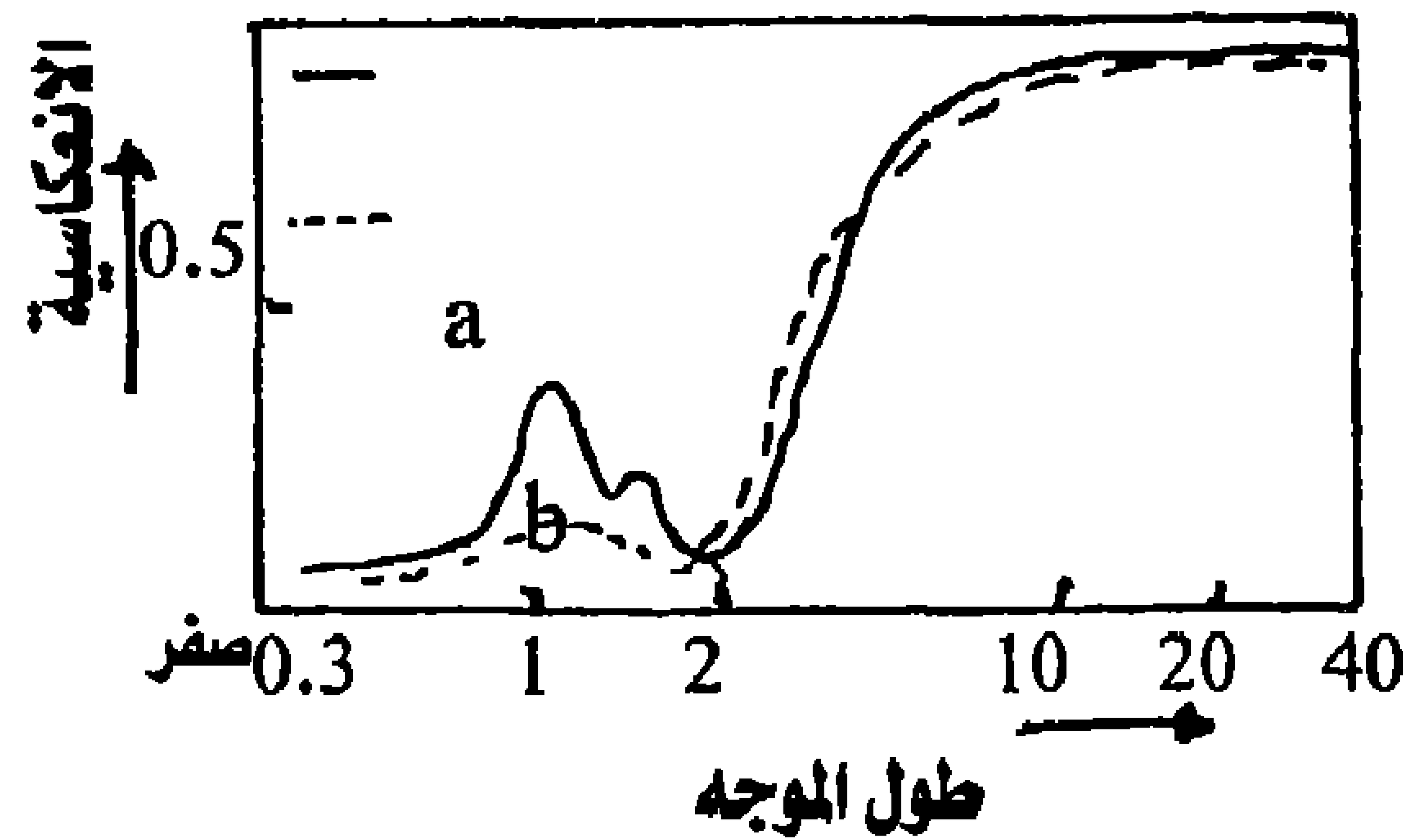
الرشرشة الكاثودية هى العملية التى فيها المادة يتم لفظها من السطح الصلب بعملية تبادل العزم، بسبب طاقة الجسيمات العالية والتى تكون عادة أيونات (ومواد متعادلة مقواه) لغاز خامل، والطريقة الأكثر عمومية للتحقيق هى بتكوين تفريغ وهج غير عادى فى الأرجون. الأيونات المنتجة عندئذ تصطدم بالكاثود وتحرر المادة من سطح الكاثود، عادة فى الشكل الذرى.أى سطح موضوع قريباً من الكاثود سوف يتقاطع مع الذرات من الكاثود وسوف تتم تغطيته. هذا عندئذ يكون هو الترسيب بالرشرشة الكاثودية (Sputter Deposition). الطريقة موضحة فى الشكل (4/17).



شكل (4/17) ترسيب بالرش

حيث تتحرك مادة التغطية من الهدف إلى الأساس بواسطة طاقة تصادم الجسم (Energetic particle Bombardment). هنا تقنية التحضير تكون كالآتى:

فمثلاً، فى حالة كون السطح الانتقائى الطيفى هو أكسيد التنجستن، فإن الأكسيد يتكون بالرشرشة الكاثودية النشطة فى جو من الأرجون بنسبة 97%، 3% أكسيجين عند ضغط 10^{-3} تور (Torr) لمدة 8 دقائق (أنظر المنحنى فى الشكل (5/17).

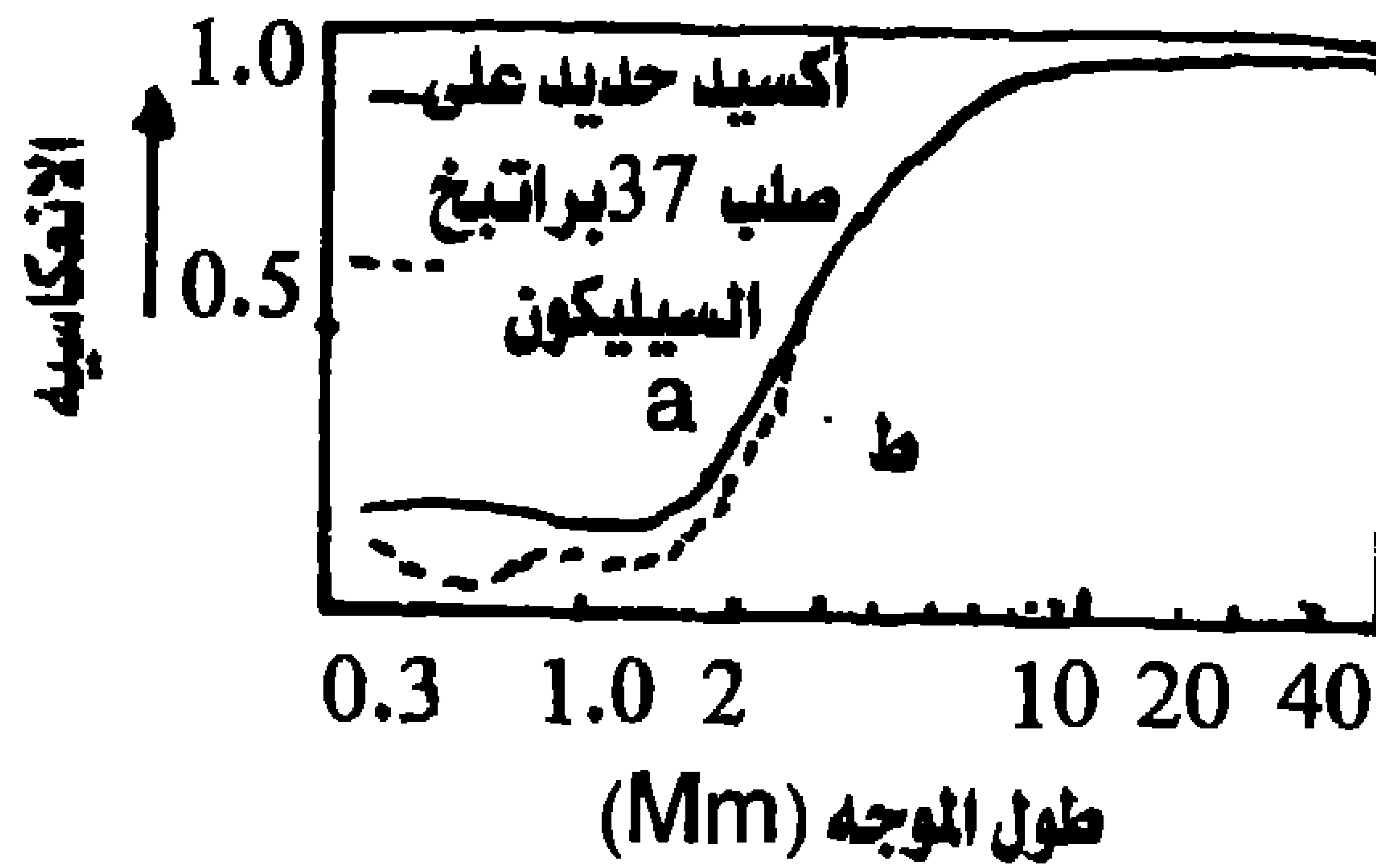


شكل (5/17) قريبا من الانعكاسية الطيفية النصف كروية منحينات أكسيد التنجستن على النيكل اللامع المنتج بالرش النشط بطبقة الومنيوم هوائية (a) بدون (b)

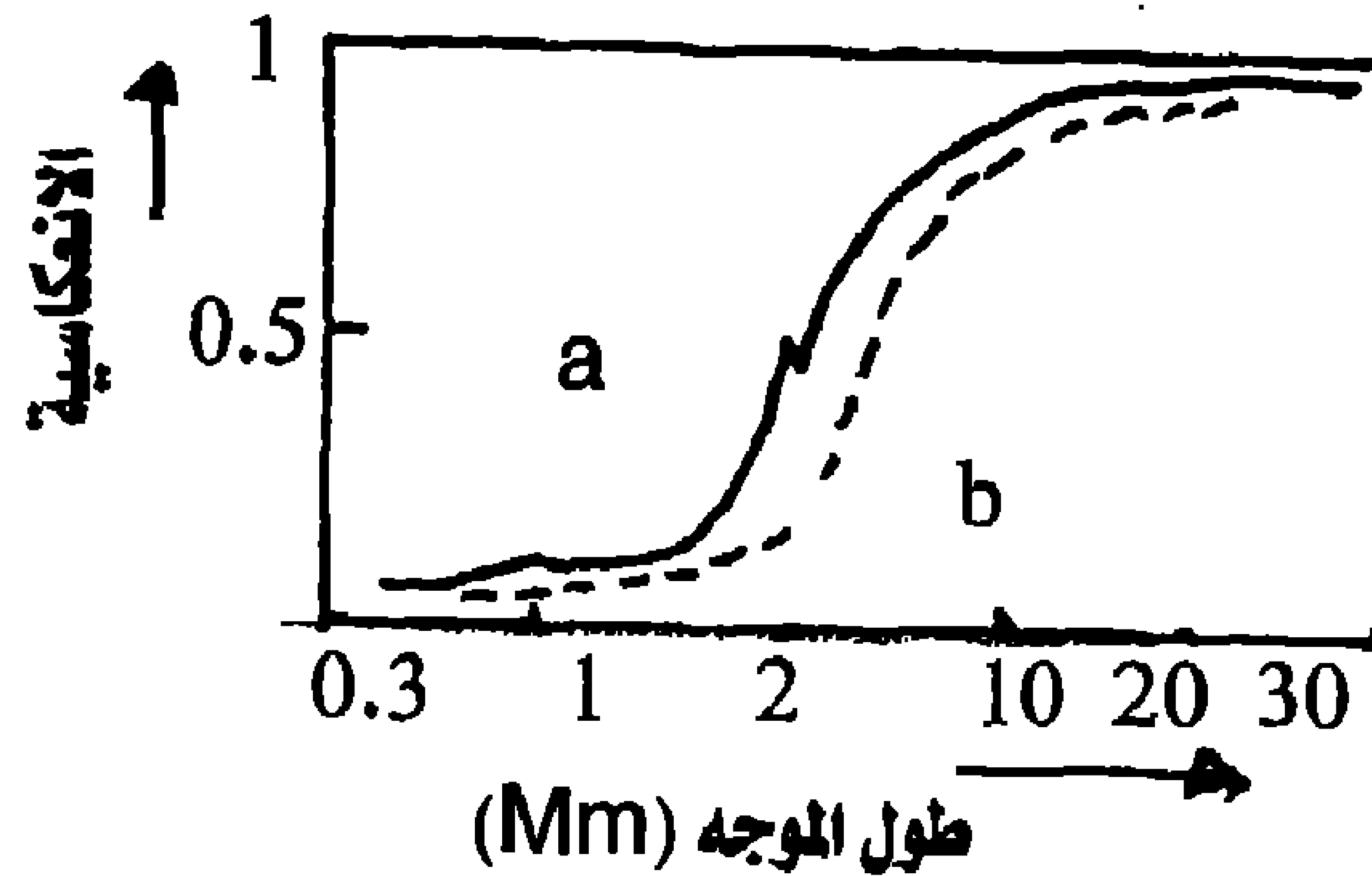
الانعكاسية العالية فى الطيف الشمسى كانت قد انخفضت بواسطة الغطاء المانع للانعكاس من (Al_2O_3) بالتبخير التفريغى تحت إحكام الانعكاسية عند 550 نانومتر.

عندئذ يزداد إجمالى الانعكاسية الشمسية من 0.83 إلى 0.93، الانبعاثية الكلية لا تتغير كثيراً.

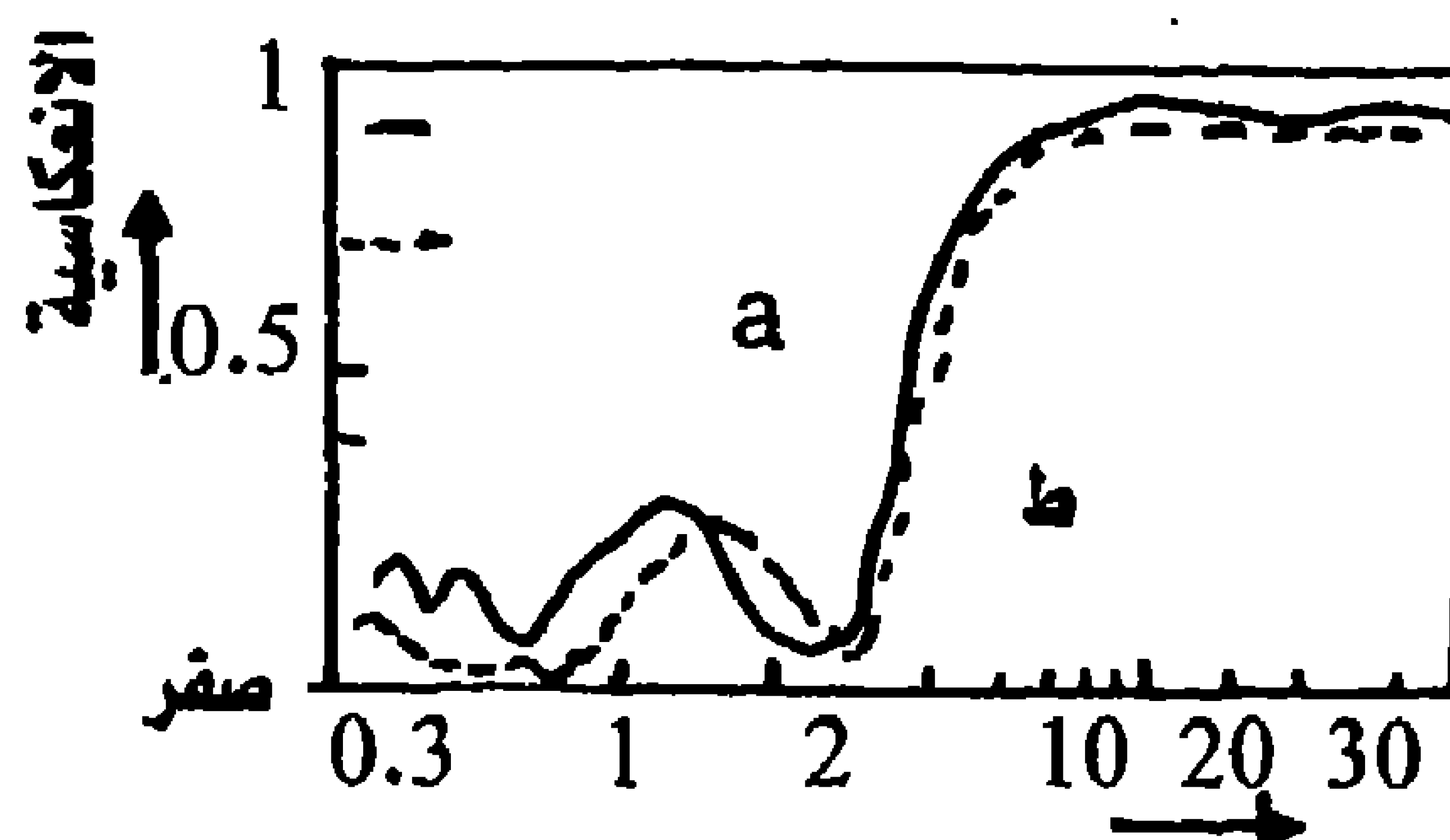
الجدول الآتى يوضح الامتصاصية الكلية للاشماس العادى وقيم الانبعاثية الكلية العادية، كما تم الحصول عليها بواسطة الأبحاث التى تمت فى جامعة التكنولوجيا فى هولندا. منحنيات الانعكاسية الإشعاعية التى تم الحصول عليها لمختلف الأسطح الانتقائية الطيفى كما فى الشكل (5/17) إلى الأشكال (6/17)، (7/17).



أشكال (6/17) قريبا من الإنعكاسية الطيفية الطبيعية من نصف الكره ، منحنيات أكسيد الحديد بواسطة الأكسدة الكيماوية للصلب اللامع (a) بدون (b) بطبقة من رلتنج السيليكون



شكل (7/17) قريبا من الإنعكاسية الطيفية الطبيعية من نصف الكره ، منحنيات زنك الكروم المعدة بالغمر فى الزنك فى حمام كمياوى لمدة دقيقة واحدة (a) ولمدة دقيقتين (b)



(8/17) قريبا من نصف الكره ،
اللانعكاسيى الطيفية لاكسيد الكوبالب المعد أولا بالترسيب على
النيكل عند 37° (a) 20 ثانية(b) 90 ثانية

جدول (3/17) السطح الانتقائى الطيفى و (αn) ، ξn (60°م)

سطح الانتقاء الطيفى	ξn	ςn (60°م)
أكسيد الحديد على الصلب (0.1 دقيقة)	0.83	0.06
أكسيد الحديد على الصلب (دقيقة واحدة)	0.93	0.06
تحويل زنك كروم على الزنك (دقيقة واحدة)	0.91	0.08
تحويل زنك على الزنك (2 دقيقة)	094	0.12
أكسيد الزنك الأسود على الزنك (دقيقة واحدة)	0.95	0.08
أكسيد الكوبالت على النيكل (20 ثانية)	0.87	0.07
أكسيد الكوبالت + Fe^{3+} على النيكل (90 ثانية)	0.92	0.08
أكسيد التنجستين على النيكل (8 دقيقة)	0.83	0.07
أكسيد التنجستين على النيكل + A_2O_3	0.93	0.09

4- طريقة ترسيب البخار الكيماوى:

Chemical Vapour Deposition Method

عند التحلل الكيماوى لمركب متطاير أو تفاعله مع غازات أخرى لمـــادة الأســـاس لإنتاج منتجات متطايرة وغير متطايرة. فإن المنتجات الغير متطايرة على مادة الأساس تصبح غطاء مثل التحلل الحرارى للسيلين (SiH_4 - Silane) الذى نتج طبقـــة تغطيـــة

عالية النقاء من السيليكون، ولكن إضافة الأمونيا ينتج عنها ترسيب نيتريد السيليكون، ولكن إضافة الأمونيا ينتج عنها ترسيب نيتريد السيليكون (Silion Nitride).

5- طريقة الأكسدة الكيماوية:

هذه الطريقة موضحة بأخذ مثال لأكسيد الحديد كسطح انتقائى طيفى. تتم أكسدة عينات الصلب المصقول فى محلول عالى القلوية عند 140^oم لمدة دقيقة واحدة المحنى (أ) فى الشكل (6/17) علوى.

الأكسيد المتكون يكون غالباً Fe_3O_4 تماماً. الامتصاصية الشمسية αn = 9.83، إجمالى الانبعاثية الكلية ςn = 0.06 عند 60^oم طبقة رقيقة من راتنج السيليكون (Dow 805) تزيد αn إلى 0.93 (الشكل 6/17) المنحنى ب. ςn لا تزداد لأن طبقة الراتنج الرقيقة كانت شديدة الرقة (100 نانوميتر) وشفافة للأشعة تحت الحمراء.

6- الغمر فى الأحواض الكيماوية المناسبة:

التغطية بالنحاس الأسود تتم على الألومنيوم النظيف المؤكسد بالأنودة كمادة أساس ومعالجته بمحلول ساخن من نترات النحاس لمدة 10- 15 دقيقة. يلاحظ أن الخواص البصرية والحرارية تكون حساسة لتشطيب السطح من مواد الأساس من الألومنيوم المؤنود (Anodized) التغطيات من النحاس الأسود وجد أنها يتحلل بعد حوالى 30 ساعة.

التغطية بتحويل كرومات الزنك تم تحضيرها بواسطة (M. Leiz). حيث عينات الصلب المرسب عليها كهربياً الزنك اللامع تم غمرها فى حوض تجارى متاح عند درجة حرارة الغرفة لمدة دقيقة واحدة الشكل (7/17) المنحنى (أ)، لمدة دقيقتين المنحنى (ب).

7- طريقة الطلاء الكهربى: Electroplating Method

يستخدم مختلف الأحواض الإليكتروليتية، كما فى حالة تحضير أسود المعدن (metal Blacks) للنيكل الكروم، بهدف الحصول على طبقات يمكن إعادة إنتاجها للنوعية المطلوبة، يتم تأسيس المعايير للتحكم فى مكونات الحوض ومعدل الترسيب. يتم تعظيم زمن الترسيب الكهربى، درجة حرارة المحلول، تركيز المحلول والرقم الهيدروجينى للمحلول (pH value) للحصول على الخواص البصرية والحرارية المطلوبة، فإن النظافة الأولية لمواد الأساس تلعب دوراً هاماً فى السطح النهائى ونوعية الطلاء البصرية. يمكن التغطية المباشرة للنحاس النقى، النحاس المغطى بالنيكل، والحديد بالنيكل الأسود والكروم الأسود. على الجانب الآخر، مواد الأساس من الألومنيوم تتطلب التغطية المسبقة للزنك يليه بالنيكل اللامع قبل الطلاء بالأسود من

النيكل أو الكروم عليهم. فى كلا الحالتين لأسود النيكل والكرم، يلزم التحكم الجيد على درجة حرارة الحمام، كلا من الرقم الهيدروجينى (PH) وكثافة التيار وذلك للحصول على طبقات تغطية جيدة النوعية. فى حالة التغطية بالنيكل الأسود، فإنه يلزم أن تكون درجة حرارة الحمام فى المجال من 50 -° 60م ، الرقم الهيدروجينى من 5-6 وكثافة التيار تكون 200 أمبير/ المتر المربع (200A/m2). درجة حرارة الحمام وكثافة التيار للكروم الأسود هى 30- ° 40م ، 8000 أمبير/متر مربع على التوالي. وجد أن الامتصاصية البصرية (Optical Absorbance) (α) والانبعاثية الحرارية (ε) (Thermal Emittance) لتغطية بالنيكل الأسود والكروم الأسود يتوقف إلى حد كبير على الحالة الطبيعية، الخشونة السطحية، تحديدا لسطح مادة الأساس. تم الحصول على امتصاص بصرى يزيد عن 0.9 فى منطقة الطيف الشمسى. وتلك التغطيات أظهرت انعكاسية قوية في المنطقة تحت الحمراء ما بعد من 3 ميكرومتر. قيم الانعكاس الطيفى أكبر من 0.8 يتم الحصول عليها أكبر من ~ 5 ميكرومتر. نسبة (α/ε) الناتجة من تلك التغطيات تقع فى المجال من 10-15. بالنسبة لأكسيد الكوبالت كطيفى، فإن السطح الانتقائى الذى تم تحضيره كعينات تم أول طلاء كهربى له بالنيكل اللامع ثم الطلاء الكهربى بالكوبالت فى محلول محتوياً على 450 جرام/ لتر من كبريتات الكوبالت ($CoSO_4.7H_2O$)، 45 جرام/ لتر $CoCl_2.6H_2O$، H_3BO_3 عند 40°م لمدة 20 ثانية الشكل (7/17-أ) 90 ثانية للمنحنى ب. بعد ذلك كانت طبقة الكوبالت قد تأكسدت فى الهواء عند 400°م خلال 1.5 ساعة. طريقة الأنودة بدلاً من الأكسدة يمكن استخدامها حيث الأول أقل تكلفة، الأكسيد المتكون بتسخين الكوبالت فى الهواء هو أساساً (CoD)، الذى من المحتمل السبب فى الانعكاسية العالية فى القريب من الأشعة تحت الحمراء انظر المنحنى أ – الشكل (5/17) هذا الصدم (Bump) بمكن خفضه بالمعالجة بكمية صغيرة من (Fe^{3+}) فى طبقة التغطية من (CoO) (انظر المنحنى ب فى الشكل (5/17) بحيث أن الامتصاصية الشمسية الكلية يمكن أن تصل قيم مقبولة، هنا 0.92 انظر كذلك الجدول السابق.

8- طريقة الرش: (Spraying Method)

التغطيات الانتقاية من أكسيد القصدير النقى (Tin Oxide) تم الحصول عليها برش محلول كحولي من كلوريد القصديريك (Srannic Cholride) على الأساسات الزجاجية عند درجة حرارة 500°م . الطبقة المعالجة تم الحصول عليها بإدخال كميات صغيرة من (Antimony Trichoride) فى محلول الرش. ثم تعظيم العديد من معايير الطلاءات بهدف الحصول على امتصاصية عالية فى منطقة الطيف الشمسى

والانعكاسية العالية فى المنطقة تحت الحمراء . هذه الطريقة أقل تكلفة وأكثر مناسبة وتنتج تغطيات ذات امتصاصية تزيد عن 0.9 وانبعاث طيفى من ~0.2 مع القليل من المتغيرات فى معايير التغطيات، فإن نفس العملية لترسيب الرش تم استخدامها لتحضير التغطيات للغطاء الزجاجى (Cover-Glass) المطلوب لمجمعات اللوح المستوى والأنبوب الخارجى المستخدم فى المجمعات الأسطوانية من نوع التركيز البؤرى. الانعكاسية لتلك التغطية فى المنطقة تحت الحمراء ما بعد 3 ميكرومتر (Beyond 3Mm) تقترب من قيمة 0.87 . لذلك الفقد الحرارى من التغطيات السوداء يمكن خفضه إلى حد كبير. الطريقة تستخدم أساساً فى صناعة السيراميك، حيث الرش ثم الحرق الذي يليه والذى يحدث فى فرق ذو درجة حرارة مرتفعة.

9- الطلاء بالبويه وطرق أخرى:

لقد اقترح أن بناء السطح للمعدن ذو انعكاسية عالية يمكن تصميمه لجعل السطح ماص جيد للأشعة قصيرة الموجة، يتم ذلك بعمل خدوش (Grooving) أو حفر السطح وخلق فجوات ذات أبعاد قريباً من قطع طول الموجة. السطح يعمل كتجهيز لماصات الفجوة لأطوال الموجة القصيرة، ولكن بالنسبة للأشعة طويلة الموجة يشع كسطح مستوى. درجة الانتقائية المنتجة بهذه التقنية أصبحت محدودة. يمكن الحصول على الانتقائية التوجيهية بالتنظيم المناسب للسطح على المستوى الكبير. الأسطح ذات الخدوش العميقة فى شكل حرف (V)، كبيرة نسبة إلى كل أطوال الموجات للأشعة ذات العلاقة، يمكن تنظيمها بحيث أن الإشعاع من الاتجاهات القريبة العمودية إلى السطح الكلى سوف تنعكس عدة مرات فى الخدوش، كل وقت تمتص جزء من الشعاع، هذا الامتصاص المتكرر يعطى زيادة فى الامتصاص الشمسى، ولكن فى نفس الوقت يزيد انبعاثية طول الموجة الطويلة.

10- عمر فترة الطلاءات (التغطيات) Life time of coatings

الفترة العمرية لثبات طبقات التغطية تعتبر من العوامل الهامة، عملياً، المجمعات الشمسية يجب أن تصمم للعمل لسنين كثيرة، الأسطح عادة تكون معرضة لعوامل الأكسدة والتآكل الجوى، وتعمل عند درجات حرارة مرتفعة إلى حد ما أى أن الأسطح تكون معرضة للدورات الحرارية اليومية، الخواص الآتية شديدة الأهمية.

أ- التمدد الحراري:

التصاق الطبقات الرقيقة يجب أن يكون كافياً للتعامل القوى الناتجة عن الاختلاف فى التمدد الحرارى لمختلف مكون الطبقات.

ب- التسرب: (Diffusion)

ثبات الأداء للطبقات الرقيقة يعتمد على احتجاز كل طبقة لخواصها البصرية بدون تغيير مع الوقت. التسرب يمكن أن ينتج بسبب الإذابة لمكـــون فـــى الآخـــر ويـــزداد بالحرارة، يمكن منعه باستخدام مانع التسرب (مثل نيتريد السيليكون Silicon Nitride) كمانع لتسرب السيليكون).

جـ- التبخير:

الطلاء يجب أن يكون له ضغط بخار منخفض لتجنب التبخر تحـــت درجـــات الحرارة والضغط داخل الغلاف المفرغ، معظم المعادن، والسيراميك الحـــرارى مـــن المواد المرشحة تحقق ذلك المطلب.

الملحق: تعريفات الوحدات الرياضية والعلمية

أ- مضاعفات الرقم عشرة:

العامل	الاسم	الرمز
10^{12}	Tera - تيرا	T
10^{9}	Giga - جيجا	G
10^{6}	Mega - ميجا	M
10^{3}	Kilo - كيلو	K
10^{-3}	Milli - ميلى	m
10^{-6}	Micro - ميكرو	M
10^{-9}	Nano - نانون	n
10^{-12}	Pico - بيكو	P

ب- التحويل للوحدات:

1- الطول، متر/ متر/ث

واحد قدم	= 0.03048 متر = 30.48سم
واحد متر	= 100سم = 1000 مليمتر = 3.2808قدم
	= 39.37 بوصة = 1.0936 ياردة
واحد بوصة	= 2.54سم = 0.0254 متر
واحد ميل	= 1.609344 كيلومتر
واحد كيلومتر	= 0.62137 ميل
واحد مليمتر	= 1000 ميكرون (M)
واحد ميكرون (M)	= 3.281×10^{-6} قدم = 10^{-4} سم
1قدم / الدقيقة	= 0.00508 متر/ ثانية
1 ميل / الساعة	= 0.44703 متر/ ثانية
1 كيلومتر/ الساعة	= 0.227778 متر/ ثانية

2- الكتلة كيلوجرام، كيلوجرام/ المتر المربع، كيلوجرام/ ثانية، كيلو/ثانية متر $^{-2}$

واحد كيلوجرام	= 2.205 رطل متر
واحد رطل متر	= 453.592 جرام = 0.453592 كيلوجرام
واحد رطل/قدم مكعب	= 16.0185 كيلوجرام/متر مكعب
واحد جرام/سم3	= 10^{-3} كجرام/ متر مكعب
رطل/الساعة	= 0.00012599 كيلوجرام/الثانية
رطل/الساعة قدم مربع	= 0.001356 كيلوجرام/ثانية متر مربع

3- المساحة:

واحد بوصة مربعة	= 6.4516سم2 = 0.00064516متر مربع
واحد قدم مربع	= 929.03سم2 = 0.0929 متر مربع
واحد سم2	= 0.165 بوصة مربعة
واحد متر مربع	= 10.7693 قدم مربع
واحد ميل مربع	= 2.58999 كيلومتر مربع

4- الحجم: متر مكعب، متر مكعب/ كيلو جرام، متر مكعب/ الثانية

واحد بوصة مكعبة	= 16.387سم3
واحد لتر	= 1000سم3 = 61.024بوصة مكعبة
	= 10^{-3} متر مكعب
واحد جالون (إنجليزى)	= 4.546 لتر = 0.1605 قدم مكعب
واحد جالون	= 3.78 كجرام
واحد متر مكعب	= 35.3148 قدم مكعب = 1000 لتر
واحد قدم مكعب	= 0.028 متر مكعب
واحد قدم مكعب/الرطل	= 0.062428 متر مكعب/ كجرام

5- الكثافة: كيلو جرام/ متر مكعب

واحد جرام/سنتيمتر مكعب	= 62.43 رطل/ قدم مكعب
واحد رطل/القدم المكعب	= 16 كجرام/ المتر المكعب
	= 0.016 جرام/سم3
واحد لتر (هواء)	= 1.2982 جرام عند درجة حرارة والضغط العادي

6- القوة (Force):

نيوتن (N)	= N/m، كجرام متر/ ثانية $^{-2}$
واحد نيوتن (N)	= 1 كجرام - متر - ثانية^{2}
واحد جرام-سم-ثانية^{2}dyne	= 10^{-5} كجرام-متر - ثانية $^{-2}$ (نيوتن)

7- الضغط: (Pressure)

باسكال (Pa)	= نيوتن/م2 (N/m^2)
واحد بار	= 750.06 مليمتر زئبق
	= 401.85 متر ماء
	= 29.53 بوصة زئبق
	= 0.98692 جوى
	= 10^5 نيوتن/م2 (10^5 N/m^2)
	= 10^5 باسكال
	= 10^3 كجرام/ متر - ثانية ^{2}
	= 10^4 جرام/ سم - ثانية^2
واحد نيوتن/م2 (IN/M^2)	= 1 باسكال
	= 10^{-2} كجرام/ متر - ثانية^2
	= 10^{-1} كجرام/ متر - ثانية^2
	= 7.5006×10^{-3} مليمتر زئبق

	= 4.1085 × 10^{-3} مليمتر ماء
	= 2.953 × 10^{-4} بوصة زئبق
	= 0.98692 × 10^{-5} جوى
واحد رطل/ القدم المربع	= 4.788 × 10^{2} جرام/ سم – ثانية^{2}
	= 4.788 × 10^{2} كجرام/ سم – ثانية^{2}
	= 4.7254 × 10^{-4} جوى
	= 3.5913 × 10^{-1} بار
واحد رطل/ البوصة المربعة (PSi)	= 6.8947 × 10^{4} جرام/ سم – ثانية^{2} = 6.8947 × 10^{-3} كجرام/ سم – ثانية^{2}
	= 144 رطل/ قدم مكعب
	= 0.06895 بار
	= 6.885 × 10^{-3} نيوتن/م^{2}
	= 6.895 كيلوبار
	= 51.715 مليمتر زئبق
	= 0.0703 كجرام/ سم^{2}
واحد جرام/سم–ثانية^{2}	= 10^{-1} كجرام/ متر/ ثانية^{2}
	= 2.0886 رطل/ قدم مربع
	= 1.4504 × 10^{-5} جوى
	= 7.5006 × 10^{-4} مليمتر زئبق
	= 10^{-4} بار = ($10^{N/m2}$)
واحد كيلوجرام/متر–ثانية^{2}	= 10 جرام/ سم – ثانية^{2}
	= 2.0886 × 10^{2} رطل/ القدم المربع
	= 1.4504 × 10^{-4} رطل/ بوصة مربعة

	= 9.8692×10^{-6} جوى
	= 10^{-5} بار = $(1\ N/m^2)$
	= 7.5006×10^{-2} مليمتر زئبق
واحد جوى	= 1.03كجرام/سم^2
	= 101.325 كيلوبار
	= 1.01325×10^5 نيوتن متر/ متر مربع
	= 1.01325 بار
	= 760 مليمتر زئبق
	= 14.696 قدم/ بوصة مربعة
	= 2.11621×10^3 رطل/ قدم مربع
	= 1.0133×10^5 جرام/ سم – ثانية^2
واحد مليمتر زئبق	= 1.332×10^3 جرام/ سم – ثانية^2
	= 1.332×10^2 كجرام/ سم – ثانية^2
	= 2.7845 رطل/ قدم مربع
	= 1.9337×10^2 رطل/ بوصة مربعة
	= 1.3158×10^{-3} جوى
	= 1.332×10^{-3} بار
	= 1.332×10^{-3} نيوتن/ متر مربع
واحد مليمتر زئبق	= 9.80665 بار
واحد مليمتر ماء	= 249.089 بار

8- اللزوجة:

اللزوجة بار ثانية	= نيوتن/ ثانية/2) = (كجرام/ متر ثانية)
	= سنتى بويز = 10^{-3} بار ثانية

9- التشتت، α اللزوجة الحركية:

أى التشتت ولزوجة المائع مقسوما على حركته واحد سنتى ستوك (centistokes) = 10^{-6} متر مربع/ ثانية.

واحد قدم مربع/ الساعة	= 25.804×10^{-6} متر مربع/ الثانية

10- شغل الطاقة: (work of Energy)

جول J = نيوتن متر = Ws (J = Nm = Ws)

(J/Kg °c, J/Kg)

واحد إرج	= 10^{-7} جول
	= 2.3901×10^{-8} كالورى
	= 9.4783×10^{-11} (Btu)
	= 2.7778×10^{-14} كيلوات - ساعة
واحد جول	= واحد نيوتن متر
	= واحد وات - ثانية
	= 10^{7} ارج
	= 0.73756 رطل/قدم
واحد وحدة حرارية/رطل (IBtu/1b)	= 2.326 كيلو جول/كجرام
واحد وحدة حرارية/ رطل فهرنهيت	= 4.1868 كيلو جول/ كجرام م

11- القوة: Power watt J/s Nm/s, W/m², w/m² °C, w/M °C

واحد وات	= واحد جول/ثانية = 0.86 كيلو كالورى/ الساعة
	= 978×10^{-4} وحدة حرارية/ ثانية
واحد حصان	= 746 وات = 596.8 كيلو كالورى/ الساعة
واحد وحدة حرارية/الساعة	= 0.263071 وات

واحد كيلو كالورى/ الساعة	= 1.163 وات
واحد وات/ قدم مربع	= 10.763 وات/ متر مربع
واحد وحدة حرارية/ الساعة قدم مربع درجة فهرنهيت	= 5.67826 وات/ متر مربع ْم

12- معدل تدفق الطاقة (Q):

واحد وات	= 0.86 كيلو كالورى/ الساعة
	= 0.23901 كالورى/ الثانية
	= 3.4143 وحدة حرارية/ الساعة
واحد كيلو كالورى/ الساعة	= 0.2778 كالورى/ الثانية
	= 3.968 وحدة حرارية/ الساعة
	= 1.163 وات
واحد كالورى/ الثانية	= 3600 كالورى/ الساعة
	= 84.285 وحدة حرارية/ الساعة
	= 4.184 وات
واحد وحدة حرارية/ الساعة	= 0.252 كيلو كالورى/ الساعة
(1 BtuLhr)	= 0.293076 وات
واحد وحدة كالورى/ الثانية	= 3600 كالورى/ الساعة
	= 84.285 وحدة حرارية/ الساعة
	= 4.184 وات

13- كثافة الطاقة (Energ Flux) (Q/A)

واحد كيلو كالورى/ الساعة - متر مربع	= 0.3686 وحدة حرارية/ الساعة-قدم مربع
	= 1.162 وات/متر مربع
	= 27.78×10^{-6} كالورى/ ثانية-م^2

واحد كالورى/ الثانية–سم^2	= 3600 كيلو كالورى/ الساعة – متر مربع
	= 0.23901 سعر حرارى
	= 2.7778×10^{-7} كيلو وات ساعة
واحد رطل – قدم (1ft -1bf	= 1.3558×10^{-7} ارج
	= 1.3558 جول
	= 0.32405 كالورى
	= 1.2851×1^{-3} وحدة حرارية
	= 5.0505×10^{-7} حصان – ساعة = 3.7662×10^{-7} كيلوات – ساعة
واحد كالورى	= 4.184×10^{-7} أرج
	= 4.184 جول
	= 3.9657×10^{-3} وحدة حرارية
	= 1.5586×10^{-6} حصان – ساعة
	= 1.622×10^{-6} كيلوات – ساعة
واحد وحدة حرارية (1Btu)	= 1.055×10^{-10} أرج
	= 1.055×10^{3} جول
	= 1.055 كيلو جول
	= 252.16 كالورى
	= 3.9301×10^{-1} حصان – ساعة
	= 2.6307×10^{-4} كيلوات – ساعة
واحد كيلو ساعة	= 3.6×10^{13} أرج = 3.6×10^{6} جول
(1kw-hr) (Kw-wh)	= 3.6 ميجا جول
	= 2.6552×10^{6} قدم – رطل

	= 7.6042 × 10^5 كالورى
	= 3.4122 × 10^3 وحـــــــدة حراريـــــــة = 1.341حصان ساعة
	= 860.42 كيلو كالورى
واحد أرج	= 1 جرام – سم2 – ثانية $^{-2}$
واحد جول	= واحد كيلو جرام – م^2 – ثانية$^{-2}$
واحد كيلو كالورى	= 4.186 × 10^{10} إرج
	= 4.1846 × 10^3جول (4.1846 كيلو جول)
	= 3086 قدم – رطل = 3.9657 وحدة حرارية
	= 1.5586 × 10^{-3}حصان – ساعة
واحد ثيرم (I Therm)	= 105.506 ميجا جول
	= 30960 وات/ متر مربع
	= 14.285 وحدة حرارية/ الساعة – قدم مربع
واحد وحدة حرارية/ الساعة – قدم مربع	= 2.713 كيلو كالورى/ الساعة – متر مربع = 3.1552 وات/ متر مربع
واحد وات/ متر مربع	= 0.86 كيلو كالورى/ الساعة – متر مربع
	= 0.23901 × 10^{-4}كالورى/ الثانية–سم^2
	= 0.317 وحدة حرارية/ الساعة – قدم مربع

14– التوصيل الحرارى: (Thermal conductivity) K_r (W/M °C)

واحد وات/متر– درجة كيلفن	= 2.3901 × 10^{-3} كالورى/ ثانيـــة – ســم – درجة كيلفن
	= 0.5778 وحدة حرارية/ ساعة – قدم مربـــع فهرنهيت

	= 0.8598 كيلو كالورى/ الساعة - متر درجة مئوية

15- معامل الانتقال الحرارى: $(h, (W/M^2. °C)$

واحد وات/ متر مربع - درجة كيلفن	= 2.3901×10^{-5} كالورى/ سم^2-ثانية-درجة كيلفن
	= 10^{-4} وات/سم^2 - درجة كيلفن
	= 1.7611×10^{-1} وحدة حرارية/ قدم مربع- ساعة- درجة فهرنهيت
	= 0.86 كيلو كالورى/ متر مربع
واحد كالورى/سم^2-ثانية-درجة كيلفن	= 4.184×10^{4} وات/متر مربع درجة كيلفن
	= 4.184 وات/سم^2 - درجة كيلفن
	= 7.3686×10^{3} وحدة حرارية/ قدم مربع- ساعة-درجة فهرنهيت
	= 36000 كيلو كالورى/ متر مربع - ساعة - درجة مئوية
واحد كيلو كالورى/ متر مربع - ساعة - درجة مئوية	= 1.163 وات/ متر مربع - درجة كيلفن
	= 2.78×10^{-5} كالورى/ سم^2 - ثانية - درجة كيلفن
	= 1.163×10^{-4} وات/ سم$^{-2}$- درجة كيلفن
	= 0.2048 وحدة حرارية/ قدم مربع - ساعة - درجة فهرنهيت

جـ- جداول التحويل للكميات الحرارية:

التحويل الآتى	إلى	أضرب فى	عكسياً أضرب فى
درجة مئوية مْ	كيلفن K°	أضف 273.15	اطرح 273.15
درجة فهرنهيت (F°)	درجة مئوية مْ	9/(32 - F) 5	32+ 5/9
درجة فهرنهيت (F°)	كيلفن K	+ 9/(32 - F) 5 273.15	+ (273.15 - K) 9 5 ÷ 32
درجة رومر R°	K	9 ÷ (191.67 - R) 5 273.15 +	÷ (273.15 - K) 9 491.67 + 5

د- انبعاثية الأسطح العادية: **Emittance of common surfaces**

المادة	درجة الحرارة مْ	الانبعاثية %
ألومنيوم لامع	100	9.5
لامع إلى حد ما	-	18
حديد لامع إلى حد ما	100	17
شعيرة التنجستين	1500	33
الطوب (أحمر/ خشن)	90 - صفر	93
الخرسانة (خشنة)	35	94
زجاج (ناعم)	25	94
خشب	90	90

هـ- الوحدات المشتقة بأسماء جديدة:

م	الوحدة المشتقة	رمز الوحدة	الكمية الطبيعية
1	نيوتن (Newton)	$N = kgm/S^2$	قوة
2	جول (Joule)	$J = Nm = kgm^2/S^2$	طاقة، شغل أو حرارة
3	وات	$W=J/S = Nm/S = kgm^2/S^2$	قوة، معدل تدفق الحرارة
4	باسكال	$Pa= N/m^2 = kg/M^2$	ضغط، إجهاد ضغط أو معامل اللدونة

References **المراجع:**

1. Achard, P, Leomte, By Mayer. (D.V. 981) Characterization and Modelling on Energy Storage Volume 2 P403, BHRA
2. Boldt (1978) "Solar Powered Water Pumps for Rural Third World, Danish Technicla University, Lab, for Energetics.
3. Coulson, K (1985) "Solar and Terristial Radiation". Academic Press New York and London.
4. Duffie, Beckman, W. (1994): Solar Energy Thermal Process Wiley, New York.
5. Bent Sorenson renewable Energy. Academic Press, Burlington MA O1803, USA, ISBN: 0-12 - 656 153-2.
6. Selected Indian Publications About Solar Energy Utilization.